

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-076359

(43)Date of publication of application : 22.03.1996

(51)Int.Cl.

G03F 1/08
G01N 21/88
H01L 21/027
H01L 21/66

(21)Application number : 07-177462

(71)Applicant : KLA INSTR CORP

(22)Date of filing : 13.07.1995

(72)Inventor : EMERY DAVID G
SAIDIN ZAIN K
WIHL MARK J
FU TAO-YI
ZYWNO MAREK
KVAMME DAMON F
FEIN MICHAEL E

(30)Priority

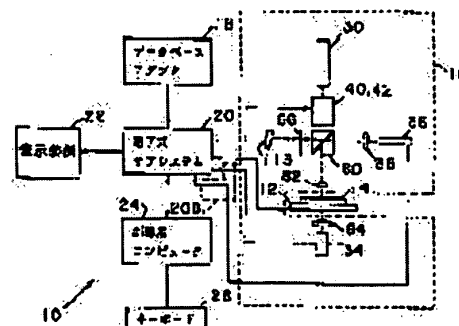
Priority number : 94 274310 Priority date : 13.07.1994 Priority country : US

(54) DEVICE AND METHOD FOR AUTOMATICALLY INSPECTING PHOTOMASK

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a device and a method for inspecting a substrate in order to automatically perform defect search and type classification at low cost with a little error, especially, to provide a substrate inspecting device and an automatic inspecting method for performing automatic inspection for searching and discovering defective particles and defective graphics different from the intension of a designer on the substrate of mask rectile, etc., and the automatic classification of types of these defects.

SOLUTION: This device is composed of an illumination



system for generating a light beam, passing that light beam through a fixed optical path and making it almost practically perpendicularly incident to the upper surface of an inspection substrate, transmitted light detector 34 for collecting and detecting the transmitted beams by adjusting them so as to be coaxial to that optical path, reflected light detector 36 for similarly collecting and detecting reflected light, comparator for providing a compare value by mutually comparing respective electric signals, and processor for separately providing the expected value of that compare value and discriminating the coincidence between the compare value and that expected value.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.10.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-76359

(43) 公開日 平成8年(1996)3月22日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 3 F 1/08	S			
G 0 1 N 21/88	E			
H 0 1 L 21/027				
21/66	J	7735-4M		
			H 0 1 L 21/30	5 0 2 V
			審査請求 未請求	請求項の数42 O L (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願平7-177462

(22) 出願日 平成7年(1995)7月13日

(31) 優先権主張番号 274310

(32) 優先日 1994年7月13日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 593099528

ケーエルエー・インストルメンツ・コーポレーション

KLA INSTRUMENTS CORPORATION

アメリカ合衆国、カリフォルニア州

95161 - 9055、サン・ホセ、ビー・オー・ボックス 49055、リオ・ローブルズ 160

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

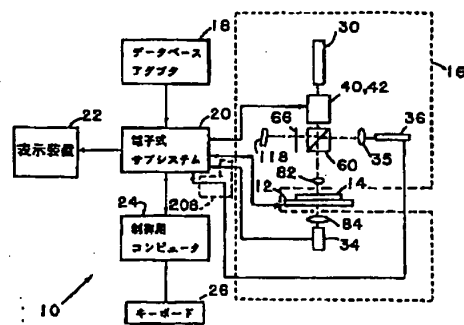
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自動フォトマスク検査装置及び方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】低コスト且つ誤謬の少ない欠陥探索並びにその型分類を自動的に行なう基板検査装置とその方法、特にマスク・レチクル等の基板に於いて欠陥粒子及び設計者の意図とは異なる欠陥図形を探索発見する自動検査と、それ等欠陥の型の自動分類とを行なう基板検査装置及びその自動検査方法を提供する。

【解決手段】光ビームを発生し、その光ビームをして一定の光路を通過せしめ検査基板の上の表面にほぼ実質的に直角入射するようにする照明系、その光路に対して同軸になるように調整して透過光を集めて検出する透過光検出器34、同様に反射光を集めて検出する反射光検出器36とそれぞれの電気信号を互いに比較して比較値を提供する為の比較器、別にその比較値の期待値を得て比較値とその期待値との一致性を判定するプロセッサにて構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上の不必要な欠陥粒子及び設計者の意図とは異なる欠陥図形を探索発見する事を目的とする基板検査装置に於て、前記基板は上面並びに下面の両面を有し、

光ビームを発生し、その光ビームをして一定の光路を通過せしめ前記基板の上の表面にほぼ実質的に直角入射するようにした照明系と、

前記基板の下表面にほぼ隣接して設置し、上述の決められた光路に関してそれと同軸になるように調整して、光ビームの透過した一部を検出する事が出来るように配備し、前記光ビームの透過光に対応する電気信号が得られるようにする透過光検出器と、

同様に前記基板の上の表面にほぼ隣接して設置し、上述の決められた光路に関してそれと同軸になるようにして、光ビームの内基板のある点を反射した一部を検出する事が出来るように配備する事に依り、光ビームの反射光に対応する電気信号が得られるようにする反射光検出器と、

前記透過、反射各々の光から得た電気信号を入力するようにして基板上同一点に於て透過光と反射光を互いに比較して比較値を提供する為の比較器と、

前記比較値の期待値を記憶保存させる為の第1のメモリと、

前記比較器と第1メモリに結合して比較値と期待値との関係を判断してその結果を報告するプロセッサと、を具備することを特徴とする基板検査装置。

【請求項2】 前記基板検査装置は更に、前記基板に対して独立な運動を賦課する事を可能とする為基板を固定し、入射する光ビームに対して前記基板が運動する事に依り変位して走査が行なわれて多くの点が観察出来る可動ステージを具備し、

前記比較器は、多くの観察点に於ける透過、反射光信号をそれに入力する事に依り基板上の同一の観察点各々に於て光ビームの透過部分と反射部分を比較し、

前記プロセッサは、多くの観察点で比較値と期待値との関係を判断し、たとえ一点でも期待値から逸脱したらその結果を報告することを特徴とする請求項1記載の基板検査装置。

【請求項3】 前記基板検査装置は、一組の透過光検出器と反射光検出器から出力される基板上の同一点に於ける信号のいずれか一方を、前記同一点に於ける他の検出器から出力される信号が決定する迄の間保持する第2のメモリを具備し、

前記比較器は、前記透過光信号、及び前記反射光信号を第2のメモリ、透過光検出器、反射光検出器からそれぞれ組み合わせて受けて前記信号値をそれぞれ比較することを特徴とする請求項1記載の基板検査装置。

【請求項4】 前記基板検査装置は、一組の前記透過光検出器と前記反射光検出器から出力される基板上の同一

点に於ける一の検出器からの信号と、更に前記観察点の情報をも加えて保持し、同一観察点に於ける他の検出器から出力される対応する信号が決定する迄の間前記と併せて保持する第2のメモリを具備し、

前記比較器は、その透過、反射光信号を前記第2のメモリ、前記透過光検出器、前記反射光検出器からそれぞれ組み合わせて受けて前記信号値をそれぞれ比較することを特徴とする請求項2記載の基板検査装置。

【請求項5】 前記基板検査装置は、前記透過光検出器と前記反射光検出器から出力される対信号について、そのばらつき範囲を知る為同じ設計パターンを有する複数の基板上のお互い同一点に於けるそれぞれの基板の同じ複数だけの組み合わせになる対信号を保持する第3のメモリを具備し、

前記プロセッサを第3のメモリに結合して、期待値の範囲を表す情報を発生することを特徴とする請求項1記載の基板検査装置。

【請求項6】 前記基板検査装置は、前記透過光検出器と前記反射光検出器から出力される対信号について、そのばらつき範囲を知る為同じ設計パターンを有する複数の基板上のお互い同一点に於けるそれぞれの基板の同じ複数だけの組み合わせになる対信号を保持する第3のメモリを具備し、

前記プロセッサを第3のメモリに結合して、期待値の範囲を表す情報を発生することを特徴とする請求項2記載の基板検査装置。

【請求項7】 前記基板検査装置は、前記透過光検出器と前記反射光検出器から出力される複数の信号の1とその観察点に対応する位置情報を組織的に保持する第4のメモリと、

前記第4のメモリに保持された値を受けて、一定の関数を発生する関数発生器を具備し、

前記比較器は、その信号が保持されていない透過光検出器、或いは反射光検出器からのいずれかの信号並びに発生させた関数を数えると2或いはそれ以上になりそれ等2或いはそれ以上をそれぞれ比較することを特徴とする請求項2記載の基板検査装置。

【請求項8】 前記第4のメモリに保存された対応する透過光信号値を受けて、関数発生器は選ばれた第1の関数を発生し、又反射光信号値を受けて、選ばれた第2の関数を発生することを特徴とする請求項7記載の基板検査装置。

【請求項9】 前記一定の関数は2次微分関数であることを特徴とする請求項7記載の基板検査装置。

【請求項10】 前記第1の関数は2次微分関数であることを特徴とする請求項8記載の基板検査装置。

【請求項11】 前記第2の関数は2次微分関数であることを特徴とする請求項8記載の基板検査装置。

【請求項12】 前記第1のメモリは、有害な可能性がある欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パター

ン図形の型分類とそれ等に関わる比較値の範囲を記憶し、

前記プロセッサは、期待と異なる上述の欠陥候補を検出した時に、これに対応して前記第1のメモリの中から上述の欠陥性粒子情報及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形の型分類と比較値の情報とを呼び出してその結果をも含めて報告することを特徴とする請求項1記載の基板検査装置。

【請求項13】 前記第1のメモリは、有害な可能性がある欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形の型分類とそれ等に関わる比較値の範囲を記憶し、

前記プロセッサは、期待と異なる上述の欠陥候補の信号を受信した時に、これに対応して前記第1のメモリの中から上述の欠陥性粒子情報及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形情報とを呼び出してその結果をも含めて報告することを特徴とする請求項2記載の基板検査装置。

【請求項14】 前記可動ステージは観察点に対応する位置信号を発生し、そして比較器にその信号を送り込むように配備され、

前記比較器は、前記透過光及び反射光検出器の比較値と併せて前記位置信号を出力し、

前記プロセッサは、期待と異なる欠陥候補の比較値を受信した時は、その位置信号を解釈し、その報告に欠陥候補の位置情報をも加えることを特徴とする請求項13記載の基板検査装置。

【請求項15】 前記可動ステージは、観察点に対応する位置信号を発生するように配備され、

前記プロセッサは、可動ステージ系と結合させ、併せて位置信号を受信し、期待と異なる欠陥候補の比較値を受信した時は、その位置信号を解釈し、その報告に欠陥候補の位置情報をも加えることを特徴とする請求項13記載の基板検査装置。

【請求項16】 上面並びに下面の両面を有する基板上の欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形を探索発見する方法に於て、

a) 光ビームを前記基板の上の表面にほぼ実質的に直角に入射させ、

b) 透過光検出器を前記基板の下表面にほぼ隣接して設置し、前記ステップa)で述べた光路に関してそれと同軸になるように調整して、光ビームの透過した一部を検出させ、

c) 前記ステップb)で述べた透過光に対応する信号を発生させ、

d) 反射光検出器を前記基板の上部表面にほぼ隣接して設置し、前記ステップa)で述べた光路に関してそれと同軸になるように調整して、光ビームの反射した一部を検出させ、

e) 前記ステップd)で述べた反射光に対応する信号

を発生させ、

f) 前記ステップc)及びe)で発生した信号を互いに比較して比較信号を発生させ、

g) 別に比較値の期待値を記憶保存し、

h) 前記ステップf)における値と前記ステップg)における期待値が不一致の時それを報告することを特徴とする基板検査方法。

【請求項17】 前記基板検査方法は、

i) 基板を次の位置に移動させ、

j) 次に、観測点では、前記ステップa)からステップi)迄繰返し実行させることを特徴とする請求項16記載の基板検査方法。

【請求項18】 前記基板検査方法は、

k) 前記ステップe)とステップf)の間に、ステップc)或いはe)どちらか一の信号を次のサイクルで各々対応してステップe)とc)が巡って来て対になる信号が得られる迄の間記憶保存し、

前記ステップf)は、前記ステップk)で保存されていた信号と保存以前の前記ステップc)及びe)で発生した信号を互いに比較させ比較値を発生させることを特徴とする請求項16記載の基板検査方法。

【請求項19】 前記基板検査方法は、

l) 前記ステップe)とf)の間に、前記ステップc)或いはe)どちらか一の信号を次のサイクルで各々対応して前記ステップe)とc)が巡って来て対になる信号が得られる迄の間記憶保存し、そして前記ステップf)では前記ステップc)及びe)で発生した保存以前の信号とステップk)で記憶された信号とを互いに比較して比較値を発生させることを特徴とする請求項17記載の基板検査方法。

【請求項20】 上下両面を有する基板上の有害な欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形を探索発見する方法に於て、

a) 先ず基板がどのような型式のものかそれを選択して決め、

b) 照明系からの光ビームを前記基板の上の表面にほぼ実質的に直角に入射させる様に光路を決定し、

c) 前記ステップb)にて決められた光路に誘導される透過光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の下表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってそれを検出し、

d) 前記ステップc)にて検出された透過光に対応して電気信号を発生させ、

e) 前記ステップb)にて決められた光路に誘導される反射光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の上表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってそれを検出し、

f) 前記ステップe)にて検出された反射光に対応して電気信号を発生させ、

g) 前記ステップd)とf)にて発生させた信号の比較

値に対する期待値を発生させ、

h) かかる期待値を記憶保存し、

i) 前記ステップa) からh)迄、同じ型式の他の検査基板を選んでその課程を繰返す様にし、

j) 次に実際に検査すべき基板を選択し、

k) 照明系からの光ビームを前記ステップj)の基板の上の表面にほぼ実質的に直角に入射させる様に光路を決定し、

l) 前記ステップk)で述べられた透過光ビームを同軸になるように調整し且つ前記ステップj)で述べた基板の下表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってそれを検出し、

m) 前記ステップl)にて検出された透過光に対応して電気信号を発生させ、

n) 前記ステップk)にて述べられた光路に誘導される反射光ビームを同軸になるように調整し且つ前記ステップj)で述べた基板の上の表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってそれを検出し、

o) 前記ステップn)にて検出された反射光に対応して電気信号を発生させ、

p) 前記ステップo)とm)にて発生させた信号の比較値を発生させ、

q) もし前記ステップh)にて得られた期待値と前記ステップp)での比較値が不一致と判断した時は、その事を報告することを特徴とする基板検査方法。

【請求項21】 上下両面を有する基板上の有害な欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形を探索発見する方法に於て、

a) 先ず基板がどのような型式のものかそれを選択して決め、

b) 照明系からの光ビームを前記基板の上の表面にほぼ実質的に直角に入射させる様に光路を決定し、

c) 前記ステップb)にて決められた光路に誘導される透過光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の下表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってそれを検出し、

d) 前記ステップc)にて検出された透過光に対応して電気信号を発生させ、

e) 前記ステップb)にて決められた光路に誘導される反射光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の上表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってそれを検出し、

f) 前記ステップe)にて検出された反射光に対応して電気信号を発生させ、

g) 前記ステップd)とf)にて発生させた信号の比較値に対する期待値を発生させ、

h) かかる期待値を記憶保存し、

i) 観察点を次に移し、

j) 前記ステップa)からi)迄の全ステップを選ばれた検査モードに関して検査すべき観察点に於て繰返す

ように設定し、

k) 同じ型式の別の検査基板を選択して再び前記ステップa)からj)迄の全手順を繰返すように設定をして、

l) 次に別の一枚の検査基板を選択し、

m) 照明系からの光ビームを前記ステップl)で述べた基板の上の表面にほぼ実質的に直角に入射させるように光路を設定し、

n) 前記ステップm)及びl)で述べられた透過光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の下表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってその信号を検出し、

o) 前記ステップn)にて検出された透過光に対応して電気信号を発生させ、

p) 前記ステップl)及びm)にて述べられた光路に誘導される反射光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の上の表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってその信号を検出し、

q) 前記ステップp)にて検出された反射光に対応して電気信号を発生させ、

r) 前記ステップo)及びp)にて発生させた信号の比較値を発生させ、

s) 前記ステップr)で得た比較値を記憶保存し、

t) 観測点を次に移し、

u) 前記ステップm)からs)迄ステップl)で述べた各観測点に於て繰返し、それから、

v) もし前記ステップh)で保存した期待値と前記ステップs)の比較値が、前記ステップl)で選択された検査基板上の観測点にて、一致しいと判断した時は、その事を報告することを特徴とする基板検査方法。

【請求項22】 上下両面を有する基板上の有害な欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形を探索発見する方法に於て、

a) 照明系からの光ビームを基板の上の表面にほぼ実質的に直角に入射させる様に光路を決定し、

b) 前記ステップa)にて決められた光路に誘導される透過光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の下表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってそれを検出し、

c) 前記ステップb)にて検出された透過光に対応して電気信号を発生させ、

d) 前記ステップa)にて決められた光路に誘導される反射光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の上表面にほぼ隣接して設置した検出系をもってそれを検出し、

e) 前記ステップd)にて検出された反射光に対応して電気信号を発生させ、

f) 前記ステップc)とe)にて発生させた信号を前記ステップa)の基板上の観察点の座標と共に記憶保存し、

g) 観察点を次に移し、

h) 前記ステップa)からf)迄の全ステップを必要な

各観察点に於て繰返し、

i) 前記ステップf) に於て保存された透過光と反射光の両信号の選ばれた前記第1関数の関数値を必要な各観察点に於て発生させ、

j) 前記ステップi) で発生させた関数値を観察点と対応させて記憶保存し、

k) 検査基板に必要な各観察点に於て前記ステップf) とj) にて保存された前記三つの値の期待値を発生させ、

l) 前記ステップf) とj) にて述べられた様に、検査基板の各々必要な観察点に関し、二つ或いはそれ以上の信号値の互いの各々の比較値を発生させ、

m) もし前記ステップl) で得られた期待値と比較値に関し、或る観察点でそれ等が一致しないと判断した時は、その事を報告することを特徴とする基板の検査方法。

【請求項23】 前記ステップi) は、

n) 前記ステップf) に於て別に保存された透過光と反射光の両検出信号値に対して選択されたその第2の関数値に対応する電気信号を必要な各観察点に於て発生させるステップを含むことを特徴とする請求項22記載の基板の検査方法。

【請求項24】 前記ステップi) に述べた第1の関数が2次微分関数であることを特徴とする請求項22記載の基板の検査方法。

【請求項25】 前記ステップi) に述べた第1の関数が2次微分関数であることを特徴とする請求項23記載の基板の検査方法。

【請求項26】 前記ステップn) に述べた第1の関数が2次微分関数であることを特徴とする請求項23記載の基板の検査方法。

【請求項27】 前記ステップg) は、m) 基板が持つ少なくとも一つの有害な欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形に関し、期待値に合わないその比較値を記憶保存するステップを含み、

前記ステップh) は、n) 前記ステップm) で得られた欠陥性粒子及び欠陥性パターンの情報をも報告に加えるステップを含むことを特徴とする請求項16記載の基板検査方法。

【請求項28】 前記ステップg) は、o) 基板が持つ少なくとも一つの有害な欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形に関し、期待値に合わないその比較値を記憶保存するステップを含み、

前記ステップh) は、p) 前記ステップo) で得られた欠陥性粒子及び欠陥性パターンの情報をも報告に加えるステップを含むことを特徴とする請求項17記載の基板検査方法。

【請求項29】 前記ステップi) は、q) 前記ステップa) で述べた光の入射点の位置座標情報を発生するステップを含み、

前記ステップf) は、

r) 各比較値に相当する前記ステップq) で述べた位置座標信号を確認し、

s) 前記ステップr) で述べた各比較値に相当する位置座標点の情報をも報告に加えるステップを含むことを特徴とする請求項17記載の基板検査方法。

【請求項30】 前記ステップi) は、t) 前記ステップa) で述べた光の入射点の位置座標情報を発生するステップを含み、

前記ステップh) は、u) 有害な欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形の位置情報を前記ステップt) から得て報告に加えるステップを含むことを特徴とする請求項17記載の基板検査方法。

【請求項31】 前記第1メモリは保存された期待値についてその許容値を持つようにすることを特徴とする請求項1記載の基板検査装置。

【請求項32】 前記ステップg) は比較値の期待値に関しその許容値をも含むようにすることを特徴とする請求項16記載の基板検査方法。

【請求項33】 前記ステップg) は比較値に関しその許容値をも加えて発生するようにすることを特徴とする請求項20記載の基板検査方法。

【請求項34】 前記ステップg) が比較値の期待値に関しその許容値をも加えて発生するようにすることを特徴とする請求項21記載の基板検査方法。

【請求項35】 前記ステップk) が比較値の期待値に関しその許容値をも加えて発生するようにすることを特徴とする請求項22記載の基板の検査方法。

【請求項36】 前記各透過光検出器と反射光検出器にイメージスキャナを用いたことを特徴とする請求項1記載の基板検査装置。

【請求項37】 前記各透過光検出器と反射光検出器に神経回路網を用いたことを特徴とする請求項1記載の基板検査装置。

【請求項38】 上下両面を有する基板上の欠陥や有害な欠陥性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形を全て同時に探索発見する基板検査装置に於て、光ビームを発生し、その光ビームをして一定の光路を通してしめ前記基板の上部表面にほぼ実質的に直角入射するようにした照明系と、

前記基板の下部表面にほぼ隣接して設置し、上述の決められた光路に関してそれと同軸になるように調整して、光ビームの透過した一部を検出する事が出来るように配備し、前記光ビームの透過光に対応する電気信号が得られるようにする透過光検出器と、

同様に前記基板の上部表面にほぼ隣接して設置し、上述の決められた光路に関してそれと同軸になるようにして、光ビームの内基板のある点を反射した一部を検出する事が出来るように配備する事に依り、光ビームの反射光に対応する電気信号が得られるようにする反射光検出

器と、
前記透過、反射各々の光から得た電気信号を入力するよう
にして基板上同一点に於て透過光と反射光を互いに比
較して第1比較値を提供する為の第1比較器と、
前記第1比較値の期待値を記憶保存させる為のメモリ
と、

一定の基板に於て透過光と反射光の期待される信号対を
内蔵するデータベースと、

透過、反射各々の光から得た電気信号を入力するよう
にして基板上同一点に於て透過光と反射光を前記データベ
ースのそれ等と互いに比較して欠陥の有無の情報を提供
する為の第2比較器と、

前記第1、第2比較器と第1メモリに結合して第1比較
値が期待値から逸脱した時に欠陥の分類を報告するプロ
セッサと、を具備することを特徴とする基板検査装
置。

【請求項39】 基板検査装置は、更に可動ステージを
具備し、

前記第1比較器は、前記透過、反射各々の光から得た電
気信号を入力するようにして基板上で可動する多数の同
一観察点に於て透過光と反射光を互いに比較して第1比
較値を提供し、

前記データベースは、一定の基板に於て透過光と反射光
の期待される信号対とその位置情報を内蔵し、

前記第2比較器は、透過、反射各々の光から得た電気信
号を入力するようにして基板上で可動する多数の同一観
察点に於て透過光と反射光を前記データベースのそれ等
の期待値と互いに比較して欠陥の有無の情報を提供し、

前記プロセッサは、第1比較値が期待値から逸脱する点
がある時はその内容を確認し一例でも逸脱があれば、そ
の欠陥の分類を報告することを特徴とする請求項38
記載の基板検査装置。

【請求項40】 上下両面を有する基板上の有害な欠陥
性粒子及び設計者の意図に反する欠陥性パターン図形を
同時に探索発見する方法に於て、

a) 照明系からの光ビームを基板の上の表面にほぼ実質
的に直角に入射させる様に光路を決定し、

b) 前記ステップa)にて決められた光路に誘導される
透過光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の下
の表面にほぼ隣接して設置した検出器をもってそれを検出
し、

c) 前記ステップb)にて検出された透過光に対応して
電気信号を発生させ、

d) 前記ステップa)にて決められた光路に誘導される
反射光ビームを同軸になるように調整し且つ基板の上
の表面にほぼ隣接して設置した検出器をもってそれを検出
し、

e) 前記ステップd)にて検出された反射光に対応して
電気信号を発生させ、

f) 前記ステップc)及びe)にて発生させた信号を前

記ステップa)の基板上の観察点の座標と共に記憶保存
し、

g) 最初の比較値の期待値を保存し、

h) 一定の基板に関して、代表的な透過光と反射光の期
待値を対で保存し、

i) 前記ステップc)とe)に於て得られた比較値を前
記ステップh)の期待値とを個別に比較し、

j) もし前記ステップf)に於ける比較値が前記ステッ
プg)に於ける期待値と一致せず且つ前記ステップi)
に於ける期待値と一致しない時は、その事を報告する
ことを特徴とする基板の検査方法。

【請求項41】 前記基板の検査方法は、k) 前記ステ
ップa)の照明光ビームに対して相対運動を与えるステ
ップを具備し、

前記ステップh)は、透過光と反射光信号の対の期待値
を保存するようにするステップを含み、

更に前記基板の検査方法は、l) 前記ステップa)から
f)そして続けて、ステップi)からj)を各観察点で
繰返すようにするステップを具備することを特徴とす
る請求項40記載の基板の検査方法。

【請求項42】 上面及び下面の両面を有する基板上の
欠陥を検知する基板検査装置において、

光ビームを発生し、その光ビームを一定の光路を通さ
せ、前記基板上の表面に対し、実質的に垂直入射させる
照射手段と、

前記基板の下面に隣接して設置され、前記照射手段にお
ける光路と同軸になるように調整して前記基板を透過し
た光ビームの一部を検出し、検出した光ビームの強度に
対応する第1検出値を得る透過光検出器と、

前記基板の上面に隣接して設置され、前記照射手段にお
ける光路と同軸になるように調整して前記基板を反射し
た光ビームの一部を検出し、検出した光ビームの強度に
対応する第2検出値を得る反射光検出器と、

前記基板上の検査点における前記第1及び第2検出値を
入力し、これら第1及び第2検出値、及びこれら第1及
び第2検出値それぞれに対して関数処理を施して得られ
る値の内、少なくとも2つの値に基づいて前記検査点の
欠陥の有無を判定する判定手段とを具備することを特徴と
する基板検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フォトマスク或い
はレチクルについて、その自動検査をする為の電子光学
的システムに関する。更に詳しくは、マスクとレチクル
或いはその同類の基板の検査装置であって欠陥を探索
し、発見する為のものに関する。

【0002】

【従来の技術】集積回路の製造に際して、フォトリソグ
ラフ工程を用いる。この工程では光源から発せられた光
がフォトマスクかレチクルを透過する課程を使って回路

パターンをシリコンウェハ上に回路パターンを転写する。当然、高い生産歩留の達成は、欠陥無しのマスクとレチクルを入手すること次第となる。欠陥がマスクに於て見出されることは、必然的とも言えるので、これらの欠陥を探索しなければならない。そしてマスクを使うことより以前に、歩留り向上の点からその修理する必要があるのは言うまでもない。マスクを修理する為には欠陥を探索してその場所を正確に測定する必要がある。高性能の自動マスク検査システムが必要になる所以である。

【0003】自動マスク検査システムは、過去15年間存在し且つ使用されて来た。最も初期のそのようなシステムは、John Bruning等にて発表された、“An Automated Mask Inspection System - AMIS”、“AMIS自動マスク検査装置”(IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-22, No.7 July 1971, pp 487-495)である。彼等は、レーザを使ってマスクを詳細に調べた。次のシステムは、マスクが投影する画像をリニアセンサを使って調べた例であり、例えば Levy 等によって記述されている。それは、米国特許第4, 247, 203号、“Automatic Photomask Inspection System and Apparatus”「自動マスク検査装置システムとその機械構造」になっている。この方法は二つの隣接するダイを比較する方法を教えてくれる。一方、Danielson 達は、米国特許第4, 926, 489号、“Reticle Inspection System”「レチクル検査装置」でダイ・ツー・データベースを提案している。これは、レチクルが作られた基の設計データベースとダイの比較によるレチクルの検査方法である。集積回路の複雑さが増すにつれ検査需要も当然厳しくならざるを得ない。

【0004】大面積内に散在する微小欠陥を探索するニーズがあるがこれはとりもなおさず検査速度向上を意味する。即ち、単位時間のピクセル処理スピードを上げる事が必須になって来ている。かくして増大するスピードに対する需要が、後続する特許で記述されている。例えば、1981年1月27日出願の発明、Levy他による、上述の米国特許第4, 247, 203号である。更にLevy 他、1986年4月1日出願、“Photomask Inspection Apparatus and Method with Improved Defect Detection”「欠陥探索能力改善型フォトマスク検査機械と方法」、Levy et al., April 1, 1986 及びMark J. Wahl 発明の米国特許第4, 633, 504号(1986年12月30日出願)がある。他に、Specht 等は、1989年2月14日米国特許第4, 805, 123号“Automatic Photomask Inspection and Reticle Inspection Method and Apparatus Including Improved Defect Detector and Alignment Subsystem”「欠陥探索及び位置合わせ能力改善型自動フォトマスク検査方法及び機械」を出願した。

【0005】ウェハ検査に於ける先行技術も勿論本出願と関係する。1987年2月17日、Sandland出願の米

国特許第4, 644, 172 “Electronic Control of an Automatic Wafer Inspection System”「電子制御に依るウェハ検査装置」である。開発推進力となった他の新たな技術は位相マスクに関する改良の出現である。このテクノロジーの出現によってより一層微小なパターンのプリントが可能になった。そのライン幅が0.25マイクロメータあるいはそれ以下が可能となった。Burn J. Lin は、このテクノロジー “Phase-Shifting and Other Challenges in Optical Mask Technology”「光学マスク技術に於ける位相シフトと他の挑戦」を公表している。その文献は、“Proceedings of the 10th Annual Symposium on Microlithography”「マイクロリソグラフィに関する第10回年次シンポジウム」SPIE, - the International Society of Optical Engineering, Vol. 1496, pages 54 - 79である。

【0006】前記改善の記述でもって、陳腐化された光学的マスクとレチクルに関しては、欠陥の自動的探索方法を教示しているといえる。これら前記のシステム全部に於いて通常の照明系が使われて居り又画像の捕獲はリニアレイセンサによって行なわれているのが特徴である。前記先行例では、これらの2つの技術を選択した為、検査時の信号雑音比が制限されて劣化せざるを得ず、それ故検査速度を落してしまうという悪い結果となった。他に注目すべきは、フォトマスクが半導体製造産業に於てICパターンの基板上への転写に多用されている事実である。

【0007】ICの製造に於ける基板としてはシリコンかガリウム砒素とそれ等の同類が考えられる。フォトマスクは典型的には、鏡面を有する透明な基板たとえば、熔融石英板を用いて形成されている。そのような基板の表面上に不透明な薄い膜層を生成し、それをICパターン化或いは図形化するのである。典型的な例では、不透明な薄い膜層は800ないし1200オングストローム程度の厚さのクロームである。このクローム層には片面もしくは両面共に反射防止膜が塗布されている。しかも、高い歩留率でICを生産する為、フォトマスクには欠陥が有ってはならない。

【0008】本発明のキーワードである「欠陥」を、ここで定義しておく。フォトマスクがその製造時に、又はフォトマスクの使用の結果、設計者の意図と異なるパターンに実質的に修正を受けた時その該当マスクは欠陥を有する。いずれの場合でも、設計者の意図に依るパターンと変更を受けたパターンの差即ち、違いを「欠陥」とここでは定義しておく。

【0009】欠陥は、これに留まらないが、設計者の意図では存在するパターンが不透明な薄い膜層に於てその一部が欠落しているもの、逆に設計者の意図では存在しないのに膜層或いは他の異物が余計に存在するもの、化学的汚染や残留物等々多数ある。それ等はマスク製造時であろうが使用時であろうがその事は問わない。設計者

の意図からの離反が問題になる。当然ゴミや塵芥、レジストの飛沫、皮膚の切れ端、又或いは、静電破壊で壊れたICパターン或いは図形等、諸々の例がある。基板素材の歪み傷も欠陥なのである。それらは光の透過特性を変えてしまうで問題なのであり欠陥となる。

【0010】フォトマスクの製造時にその自動検査が必須である。検査に依って始めて欠陥から解放されるからである。現在マスク、レチクルに関しその自動検査には基本的に2つの方法が存在する。それらの検査方法の1つはダイ・ツー・ダイと言われる。それは、2つの隣接するダイに透過光を通過せしめてその2つのダイ間の差異を比較して見る手法である。2つ目の方法はダイとCAD（コンピュータ支援に依る設計法）のデータベース像との差異を比較して見る手法である。この手法をダイ・ツー・データベース法と称する。

【0011】前記の2つの方法はいずれも高価につく。その訳はダイの全てのピクセル（絵素）どうしを比較する為である。しかも必要な条件とは比較時、二つのダイのアラインメントを高精度に実行しその保持をすることである。この方法は高いコストを持つ上に更に問題なのは、レチクルの不透明な部分の上に存在する欠陥粒子が検出不可能という弱点である。その後欠陥粒子は、マスク・レチクルの透明な部分に移動するかもしれずパターン転写に依ってウェハ上に欠陥を起こす傾向を持っている。

【0012】この検査方法は、Levy等によって米国特許第4,247,203号と第4,579,455号の両方に記述されている。この2番目の先願に依るマスク自動検査法は、マスク上に欠陥粒子物質が存在する場合を取り扱っている。自然現象論では、かような欠陥粒子物質が光を散乱させるが、本発明は一部この事を利用している。問題は、パターンの縁も同様に散乱を起こす事である。それ故、これ等のシステムでは、1ミクロンより小さい欠陥の探索は不適である。その間の事情は、Masataka Shiba 等SPIE学会誌、Vol.470 Optical Microlithography III、「光学マイクロソグラフィ」pages 233-240 (1984)、による題名“Automatic Inspection of Contaminates on Reticles”「レチクル上の汚染の自動検査」なる発表論文に記述されている。

【0013】最近、Wihl等は、米国内において本出願がContinuation-In-Part関係にある出願で透過光のみならず反射光も使ってマスク、レチクルを自動検査する方法の発明を示した。これは、米国出願シリアルNo. 07/784,984号に述べられている。上述のダイ・ツー・ダイ比較を使うことの必要性を取り除く故に、反射光と透過光の両方を使う方法は発展的であり大変有効であろう。ダイ・ツー・ダイ比較を使わずに基板の上の欠陥の位置をも特定し確認することが出来るシステムを構成するので、この発明の効果は大である。以下に順を追って述べる本発明の種々の実施の形態で、そのようなシ

ステムと方法を詳しく述べる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】本発明の第1の課題は、斬新な欠陥自動検査装置を提供することにある。ここでは、透過光のみならず反射光をも使ってマスク、レチクルを自動検査する方法を提供する。

【0015】本発明の第2の課題は、基板表面の位置が基準値より高い位置に来ている場合その高さを光学的に干渉法原理を用いて測定する新しい方法を提供するものである。この原理は欠陥を同定するインジケータとして応用する事が出来る。

【0016】本発明の第3の課題は、同一光学系を使って自動欠陥検査、自動欠陥分類同定装置と自動線幅測定を行なう事が出来る装置を提供する事である。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明の最初の好ましい実施の形態の欠陥自動検査装置では、先ずテストされるレチクル基板(14)をX-Y平面内で蛇行状に輸送する為のX-Yステージ(12)を有する。更に光学系を持ちレーザ(30)、透過光検出器(34)反射光検出器(36)基準光路と検査光路を確認検出する光学素子を具備する。検査光路は、レーザから検査基板へ、検査基板から検出器へ、検出器から音響光学的ビームスキャナ(40、42)へとこのような順序で展開する。この音響光学的ビームスキャナは、検査基板上で基準光路と検査光路のスキャン(走査)作用をスイッチ逆転させる為のものである。他に電子制御解析盤があつてステージや光学系の作業進行の表示をしてオペレータが制御するのを助ける。検出器からの信号を記録確認する重要な作業もこの電子制御解析盤で行なう。以下に詳述するこの装置は、ダイ・ツー・ダイ 比較モードか或いは、ダイ・ツー・データベース法としても動作することが出来るものである。

【0018】本発明の最初の効果は、レーザ光源を使っている為、マスク表面を光線にてのスキャンするに際してその高輝度を活用出来る点にある。本発明は、Bruning等に依って記述されたAMISシステムと異なり、機械的な方法でなくその代わりの電気光学素子を使って光を回折するものである。明らかに、かかる電気光学的方法は非常に速く動作するので、機械的手法よりずっと柔軟である利点を有する。しかしながら、陳腐化された電気光学的素子に依る光回折では、機械的方法よりも高速ではあるが、高効率システムに必要な速度条件に必ず十分な速度を持っているという訳ではない。そこで本発明の最初の特徴になるスピードに関し更なる増強を図る為、新たな光回折法を導入する。これは、レーザビーム記録機の発明である米国特許第3,851,951号; December 3, 1974、題名 High Resolution Laser Beam Recorder with Self-Focusing Acousto-Optic Scannerに於てJason H が述べているものである。

【0019】更に、本発明の効果によって、自動欠陥分類同定装置を産む。ここで、二次元の自由度だけを持つ新しいステージの創出をする。先の技術では、かなりのコストと複雑さをもって二次元の機能即ち回転性能を取り入れた例がある。しかし本発明は先行技術と異なる事を以下に示す。そこで、スキャンの方向選定を効率的に行なう為にステージの二つの軸を同時に制御するようにする。

【0020】本発明効果によって、先行技術と他の重要な違いは、透過光のみならず反射光からの欠陥に関する同時処理する機能を有する点である。この性能は極めて重要である。何故なら、欠陥の性質に関する追加情報が「この欠陥が何か」との問に対する答えを導く上で要の情報となるその性質を知る点で有利な特性を提供するからである。そしてこの事によって欠陥の自動的分類を可能にする。

【0021】又、本発明では、位相シフトマスクを検査する能力を挙げる。位相シフトマスク技術は勿論1990年代を通して使われ、しかもこの年代に0.1ミクロンの線幅が実現するものと期待されている。位相シフトマスク技術では、位相シフト材がマスク上に存在するが、マスク上のどんな点でも、システムの通常のスキャン速度でこれ等位相シフト材の欠陥を検査することが出来るようにしている。

【0022】本発明では、斬新な自動線幅測定装置を提供出来る事を述べた。即ち、マスクの上の幾何図形の自動線幅測定が行なえる機能を有している事を繰り返し付け加える。総合的な観点からすると、この点が優れている事は申す迄もない。何故なら、今迄は欠陥探索と自動線幅測定と二つの作業をこなすには、二つの別な装置が必要であったのである。一つだけの装置が別の二つの作業をこなすと言う能力によって時間節約が可能になった。

【0023】更にもっと重要なのはマスクを触る必要即ち取り扱い回数が減った事に尽きるであろう。

【0024】この事は汚染の機会が減る事に繋がるのである。

【0025】本発明では新しい自動焦点探索の方法を導入している。現行のマスク検査システムは、マスクの上のパターン依存性の高い自動焦点探索システムを使っていた。本発明ではこのような欠点は無くした。即ち、マスクの上のパターン依存性の無い自動焦点探索システムを導入した。

【0026】本案のシステムの別の重要な新考案に依れば、ステージの空気ベアリングについて2軸同時進行を用いたプレローディングを採用している点でもある。優れた信頼性が前記のステージ並びにプレローディング法に依って成し遂げられた。

【0027】本発明では、他に新たな点をも導入した。それは空間(座標)依存性を有する光強度の修正機構で

ある。即ち光強度は不均一である事を考慮しなくてはならない。先の技術では照明強度の空間依存性は検査以前の時点で決定していた。ただ検査中に発生する光強度の不均一性或いはその時間変動に関しては、全く無視してしまっていた。しかしながら本発明ではこの点は異なり改良が加えられている。照明強度の時間依存性を常にモニタ出来るようにした。しかも刻々変わる照明強度を直ちにリアルタイムで修正出来るようにした。それ故、主光源からもたらされる照明強度の時間依存性に依って検査結果が左右される事は全く無くなった。

【0028】本発明は更に以下に示すように新たな効果を有している。それは検査光源の波長をウエーハ露光時の光源の波長と実質的に合わせてるようにした事である。このことが何故重要かは、露光時にマスクを同一波長の光が通過すると言う組み合わせから考えれば当然である。ウエーハ露光波長条件とマスク検査波長条件を描いた事は画期的である。テクノロジーの進歩と共に、益々ウエーハ露光光源の波長が短くなる傾向にある。欠陥の見え方は波長に大きく依存する事実からして、検査と露光を同一波長にするのは賢明であり且つ重要である。

【0029】本発明は、上述の第1形態の他に、基板検査装置並びに方法の第2形態を有するので、以下に第2形態についてその効果を続けて述べる。フォトマスク上でサイズがサブミクロンの小さな欠陥を高い感度で探索するには光信号を同期化することが効果的である。このようにしてサブミクロン程度の小さな粒子、化学的汚染残留物、或いは基いたの透過特性の小さな狂い等々を欠陥として発見する事が可能になる。(基板上の同一点に対して同一光線を照射する方法と二つの異なる光線を照射する方法とがある。後者の二つの異なる光線を使う場合に於てはそれ等の強度、断面形状は同じにする必要がある。)

本発明にて新しく導入する基板検査の機構は、基準となる欠陥のデータベースを導入提供する事にある。露光に際してマスク基板上の画像が同じものが繰り返される為、かかるデータベースの存在は欠陥の同定に大変有効となる。それに依って、サブミクロン程度の小さな粒子、化学的汚染残留物、或いは基板の透過特性の小さな狂い等々を欠陥として発見し同定する効率が著しく向上する。

【0030】本発明は、ICマスクのパターン画像の端部の問題を以下に示すように解決した。アラインメント即ち位置合わせのサブシステムが不要である。それにも関わらず本自動検査装置では、サブミクロン程度の小さな粒子、化学的汚染残留物、或いは基板の透過特性の小さな狂い等々を、たとえ、ICパターン画像の端部にそれ等が存在しても問題なく欠陥として発見し同定する事が出来る。この結論としては、アラインメント機能無しでも欠陥の探索を可能にし、発見した欠陥の自動型別分類を可能にした事である。勿論、ここで使うのは透過光

と反射光のみである。

【0031】本発明の欠陥自動同定装置を構成するのはレーザスキャナ、光学系サブシステム、ステージ、反射系、透過光検出系と自動焦点調整サブシステム機構であって、前記Wihl特許に述べられているのは前に述べた通りである。本発明に於てその道の權威が以下の発明の実施の形態並びに図面を一読することに依り発明の斬新性が明白になると信ずる。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の好ましい実施の形態を詳述する。

【0033】本発明の基板検査装置並びに方法は、その第1の実施の形態と第2の実施の形態とから構成されているので先ずその第1の実施の形態から始める。図1の如く自動マスキング検査システムのブロックダイアグラム全体を、図中、10として表す。このシステムは、基板の検査を可能にする。基板とは例えば、レチクル、フォトマスク、パターンを搭載する半導体ウェハ或いは、位相シフトマスクである。このシステムは、いくつかのタイプの検査を実行する事が出来る。透過光に依る検査、反射光に依る検査、透過光と反射光を同時に用いた検査、並びに位相シフト原理に基づく検査である。透過光に依る検査では光が基板（例えばフォトマスク）に入射する。そしてマスクを通過する透過光量を検出する。反射光に依る検査では光が被検査基板の表面からの反射光量を検出測定する。位相シフト検査に際しては、2つのコヒーレントな入射光が被検査基板の表面で反射して発生する位相シフトの量が問題になる。かかる位相シフトの量は、被検査基板表面の各点で検出する。しかもこの間、同時進行で透過光に依る検査も行なう。位相シフト量は、入射光が反射する表面の相対的位置、高さに比例して発生する。以下に説明するが、透過光信号は位相シフト信号の状況をモニタするのに使う事が出来る。

【0034】上に述べた欠陥検査且つ探索の作業に加えてこのシステムは、線幅測定を実行する事も出来る。全ての欠陥探索並びに検査の作業に於ては、2つの画像の比較を基本として行なう。ダイ・ツー・ダイ検査モードに於ては、ダイが同じパターンを保有している事実に注目する。即ち2つの独立したダイどうしを互いに比較する。そして、両者間に相当な差異があれば如何なるものも、欠陥として認知して欠陥の発見を意味する旗をシステムに揚げさせる。ダイ・ツー・データベース検査モードに於ては、テストする1つのダイとCADテープから得られる参照画像を比較して欠陥を発見する。但し、ここでCADテープから得られる参照画像は、CADデータベースシステムのダイのレイアウト設計用の画像をコンピュータ内部に形成して用いる。即ち、CADデータベースを画像フォーマットに変えて使用する。この間の詳細は米国特許第4,926,489号(Danielson 他

“Reticle Inspection System”「レチクル検査装置」

1990年5月15日)にて詳細を説明してある。図1に於て自動マスキング検査システムのブロック・ダイアグラム全体を10として示してあり、基板14を運ぶ為のステージ12、そして光学系サブシステム16、データベース・アダプタ18、電子式サブシステム20、ディスプレイ22、制御コンピュータ24とキーボード26を配備する。

【0035】【ステージ】ステージ12に関し以下に詳述するので、ここでは簡単に述べるに留める。ステージは電子式サブシステム20の支配下にある精密駆動装置として機能する。被検査基板は、ステージに乗って一平面内を光学系サブシステム16の光軸を中心に蛇行運動する事が出来る。依って基板表面の全ての点が選択されるので、被検査基板を隈無く検査する事が出来る。

【0036】【光学系サブシステム】図2に光学系サブシステム16のダイアグラムを示す。基本的にはこれは、光源30を含むレーザスキャナ装置であって、その目的はコヒーレントビーム32を前後に小角度振る即ち偏向させる事にある。光学系サブシステム16に依って定義される光軸を中心にその片側から別の側へとレーザスキャナ装置はビームを反復振動させる。更に以下に記述するが、ビームの掃引方向の選び方としては、ビームが光学系システムを通過した後基板から見てY軸と平行に進むようにする。ビームの掃引に際し、被検査基板14を運ぶステージ12はX軸方向に前後に運動する。一方、被検査基板が横断運動をする度にその終端でY軸に沿って前進する。この為にビーム32は、蛇行しつつ光路31に沿って基板表面を掃引する。この時図3、図4に示すが、基板上のサブエリア群33、35、37（マスクではこれ等は各ダイであるとして差支え無い）にて示される場所を、ビームは通過する。この様にして、基板（マスク）14の表面全体をレーザビームは走査する際、一連の隣接する走査ベルト（スワス）群をそれぞれ繋ぐようにして進む。透明か、一部透明な基板の場合において画像の検出は、透過光検出器34に依って行なう。反射性或いは一部反射性基板の場合に於て基板からの反射光は、反射光検出器36を用いて検出する。後で一層、詳細な議論を展開するが位相シフトマスク検査では、これ等両検出器を同時に使う。このシステムに於て光源30は、レーザである。具体例としては、ソルトレイク市（ユタ州）のイオンレーザテクノロジー社製のレーザ例えば、モデル5490A5L-00C-115である。

【0037】光ビーム32は、レーザ30によって発生する。最初に光ビーム32は空間フィルタ38を通過する。それから、二つの音響光学素子の組合わせ効果に依って、光ビーム32は偏向される。ここに二つの音響光学素子とは、各々音響光学効果を使ったブリスキャナ40とスキャナ42の事を指す。これ等二つの素子は、Y方向に光ビームを進め、X方向に於て焦点を結ばせる様に

作用する。この詳細は米国特許第3,851,951号 (Jason H. Eveleth, "High Resolution LaserBeam Recorder with Selffocusing Acousto-optic Scanner")

「自動焦点光音響スキャナーを備えた高分解能レーザ光線レコーダー」1974年12月3日出願)に記述してある手法と同じである。偏向系は、ビーム展開器44と4分の1波長板46でもって構成する。光ビームがスキャナ42を通過して現われる時、Y方向に関し漸次集束傾向にあるだけだが、X方向には、コリメートしているのが特徴である。円柱レンズ50はビームをX方向に関しても焦点に集束せしめる。その為X及びY軸共にフィールドストップ52の所に焦点面が形成される。光ビームは次に4分の1波長板54を通過してからリレーレンズ56を通過する。そして光ビームは、ただそれだけの為に設置した鏡58に当たって反射される。かように方向を変えた光線は、立方体型ビームスプリッタ60に入射して光路62と64にそれぞれ分岐する。後者の光路は位相測定モードでだけ使われる。位相測定モードで使われ無い時には、シャッター63によって抑止されている。光ビームは続けて光路62に沿って進み、検査時は固定されている振動鏡65上で反射する。この振動鏡65は作業者が表示中の像を見ている時のみ使うので図2には示していない。作業者が表示中の像を観察する作業はレビューと称する。

【0038】一方システムはその間、次の基板の位置合わせ即ちアラインメントを行なう事が出来る。次にダブプリズム66を導入して、光学軸の周りに掃引方向が回転するように工夫する。ダブプリズム66の出力は、回転タレット72に取付けた望遠鏡68と70の1つに入力するようにする。これ等望遠鏡を設ける意図としては基板14上で走査の際のビームスポットサイズを調整してこれを変える事にある。よって探索可能な最小欠陥サイズの選択を可能とする。倍率を変えると走査長が変わる。スワス…走査ベルトも同様に変わる。それ故、検査速度も変わる。(望遠鏡は2基のみしか図示していないが望遠鏡の数は幾つでも良いのであり従って、走査の際のビームスポットサイズ調整に関して言えば通常は任意のサイズのスポットにする事が可能である。)望遠鏡から出た光ビームは、鏡74で反射されてビームスプリッタ76に入力する。光ビーム78は一部反射されて、光強度モニタの役目を果たす検出器80に向う。一方反射されたビーム78の残りは、対物レンズ82を通過する。その際、焦点を被検査基板上の一点に合うようにする。基板14を通過するビームは、集光レンズ84と集束レンズ86に依って集める様にする。そして透過光検出器34上へ焦点を形成するようにする。

【0039】[オートフォーカス(自動焦点)サブシステム] オートフォーカス(自動焦点)機能は光線が幾つかのアナモルフィック素子(anamorphic elements)を透過した後の光線の断面形状の監視に基づいて実施され

る。オートフォーカスを実施する際の基本原理は、円筒形レンズでは非点収差が生じるということである。非点収差が生じた場合、集束光線はまず一方における焦点を通過し、次にこの一方に対して垂直な方向における焦点を通過する。光線が光路に沿って両焦点の間を進む場合、光線の横断面は一方が長い長円の形状から、円形状になり、やがて一方に対して垂直な方向に長い長円の形状になる。本発明では基板に照射される光の最適な焦点は、基板14からの反射光の横断面を監視することにより検出される。光線の横断面の形状はシリコン四分割型フォトダイオード90、92により監視される。シリコン四分割型フォトダイオードの製品例としては、米国カリフォルニア州の Si Detector Corp.社がある。

【0040】後に詳細に説明するように、実際のオートフォーカス・システムは非点収差の方向が相互に異なる2筋の光路からなっている。一方の光路では円筒状レンズはX軸方向から見た場合に曲率を有していない。他方の光路では円筒状レンズはY軸方向から見た場合に曲率を有していない。オートフォーカス用光線93は、ビーム・スプリッタ94により、反射光検出光路に沿って進む反射光線95から分離されて、更にビーム・スプリッタ94により分離されて、別のビーム・スプリッタ96に向かって進む。ビーム・スプリッタ96によりオートフォーカス用光線93は2つに分割されて、それぞれが光路98及び100に沿って進む。図2ではX座標は用紙に垂直なので、円筒状レンズ102は湾曲しているが、全く同じ素子で別の光路にある円筒状レンズ104は平行四辺形素子として示されている。検出器である四分割型複合ダイオード90に通じる光路には、球状レンズ106も設けられている。全く同一の検出器である両四分割複合ダイオード90、92はそれぞれに対応する光線の横断面を検出する。基板の表面の位置が変化すると、即ち、基板の厚さが変化すると、両四分割複合ダイオード90、92により監視されるそれぞれの光線の横断面が図5及び図6にそれぞれ参照符号108、110及び参照符号108、112として示すようにX軸方向に変化する。いずれのフォトダイオードにおいても照射領域が垂直方向(Y軸方向)に変化することはないことに注意されたい。検査対象基板が合焦点位置にあると、両フォトダイオードは共に円形の光線108により照射される。検査対象基板が合焦点位置からずれると、一方のフォトダイオードに照射される光線は照射領域の水平方向の径が縮み(図5の参照符号110)、他方のフォトダイオードに照射している光線は照射領域の水平方向の径が増大する(図6の参照符号112)。この変化により両フォトダイオードの電気出力が変化する。従って、A1を直角位相フォトダイオード90のX軸に沿った四分円から得られる信号、A2を直角位相フォトダイオード92のX軸に沿った四分円から得られる信号、B1を直角位相フォトダイオード90のY軸に沿った四分円から

ら得られる信号B2を直角位相フォトダイオード92のY軸に沿った四分円から得られる信号とすると、焦点補正信号Fcは次の(1)式で表される。

$$F_c = \frac{(A_1 - B_1) - (A_2 - B_2)}{(A_1 + B_1) + (A_2 + B_2)} \quad \dots (1)$$

【0042】[透過光検査モード] 透過光検査モードは、透明な領域と不透明な領域とを通常有している光学マスクなどの基板の欠陥検査に用いられる。レーザ光線はマスクを走査する際に、透明な部分を透過し、集光レンズ84により集光され、集束レンズ86により集束されて、マスク14の背後に位置している透過光検出器34により検出され、測定される。

【0043】[反射光検査モード] 反射光検査モードは、現像されたフォトリソ等不透明な画像情報を有している基板及びその上パターンの欠陥検査に通常は用いられる。基板からの反射光は先に述べた照射用の光路を戻すが、ビーム・スプリッタ60により進行方向が変えられて反射光検出器36に向かって進み、集光レンズ35により反射光検出器36上に集束される。先に述べたように、反射光の検査時にはシャッタ63は閉じている。反射光検査モードは不透明な基板の表面の汚染の検出にも使用することができる。

【0044】[位相シフト材料の厚さ測定モード] 位相のずれ(以下位相シフトと呼称する)の測定は基板が透明である部分についてのみ実施される。即ち、位相シフトの測定は基板に不透明な部分がない場合にのみ実施される。不透明な部分は透過光検出器34により検出され、不透明な部分を除いた領域で位相シフトが測定される。位相シフトを測定している間シャッタ66は開いており、ビーム・スプリッタ60により反射されたレーザ光線が、望遠鏡114を構成しているリレー・レンズ110及び112、並びに開口数の低い対物レンズ116を透過して、傾斜した鏡118に入射する。鏡118により反射したレーザ光線は同じ光路を逆戻りして、ビーム・スプリッタ60、ビーム・スプリッタ94、集光レンズ35を次々に透過して反射光検出器36に入射する。これと同時に、反射光検出器36には最初にビーム・スプリッタ60を透過し、次に基板上のある点で反射して戻って、ビーム・スプリッタ60により反射された光も入射する。これ等の両入射光線は相互に干渉し合うので、反射光検出器36により検出される光の強度は両光路62及び64の相対的な長さの関数として変化する。後に詳述するように、このデータは電子式サブシステムにより解釈されて、基板の所定の点を覆っている位相シフト材料の厚さの変化の判定が行なわれる。

【0045】[様々な種類の検出器による同時検査] 透過光の検出、反射光の検出、位相シフトの測定は、それぞれ単独にしか出来ないというものではない事に注意されたい。透過光の検出と反射光の検出とを同時に行なえ

*【0041】
【数1】

ば、透過光検出器により不透明な欠陥を検出することが出来るだけでなく、反射光検出器により欠陥の種類を判定することが出来る。例えば、欠陥が点状の余剰クロムによる汚れ(chrome dot)や粒子である場合には、いずれも不透明なので透過光検出器からは暗部を示す出力が得られる。ところで、クロムによる汚れは反射するので、反射光検出器からは強度の反射光を示す出力が得られるが、粒子の場合には余り反射しないので、反射光検出器からは強度の反射光を示す出力は得られない。このように反射光及び透過光の両者を検出することにより、粒子による欠陥とクロムによる欠陥とを識別することが出来る。一般に、反射光及び透過光の強度の比率を調べることで、欠陥の種類を判定することが出来る。この情報は欠陥の自動分類に用いることが出来る。同様に、透過光の検出と位相シフトの測定とを同時に実施することも出来る。位相シフト型マスクでは位相シフト材料で覆われている領域内の不透明な欠陥を検出することが出来、不透明な材料の無いことが透過光検出器34により検出されると、位相シフトの測定が停止される。

【0046】[制御用コンピュータ] 制御用コンピュータ24は操作員操作卓(operator console)及び主幹制御器(master controller)として機能するもので、カリフォルニア州のサン・マイクロシステムズ社(Sun Microsystems)製のスパーク・コンピュータ(SPARC computer)のような装置である。操作員や使用者の設備などとのシステム・インターフェースは、制御用コンピュータを通じて行なわれる。操作員により割り当てられた仕事を効率よく処理するように、総ての他のサブシステムへコマンドを伝送したり、総ての他のサブシステムの状態を監視する。

【0047】[電子式サブシステム] 電子式サブシステム20は、制御用コンピュータ24からのコマンドを解釈して実行する。即ち、電子式サブシステム20は、透過光検出器34及び反射光検出器36からの両入力をデジタル化し、入射光の強度の変化に応じて読みこみ値を補正し、画像内の欠陥を検出し、欠陥データを制御用コンピュータ24に転送し、ステージ12の走査に用いられる干渉計の出力を蓄積し、ステージ用のリニア・モータを駆動させる。位相シフト及び線幅の両測定情報を除けば、制御用コンピュータ24及び電子式サブシステム20の機能は総てが米国特許第4,247,203号、米国特許第4,579,455号、米国特許第4,633,504号、米国特許第4,805,123号、米国特許第4,926,489号、米国特許第4,644,

172号に記載されている。ここに列挙した米国特許はいずれも同じ機能を様々な方法で実行しているものであり、どの方法を採用するかはシステムを開発する際にどのような集積回路装置を用いるかに基づいて決まる。本発明ではどの方法を採用しても構わない。

【0048】[ステージ] ステージ18は空気軸受けを備えたX-Yステージであり、X、Yの各軸に設けられたリニア・モータにより駆動される。ステージ12はX、Yの各軸に沿った位置が、テレトラック・コーポレーション(Teletrac Corporation)社製のモデルTIPS
Vのような干渉計(図示せず)により監視されている。ステージ18の詳細を図7に示す。同図では内部の主要な要素が見えるように前方のレールを除去して図示してある。ステージ18は2つの自由度を有している。回転はしない。図7はここに説明している自動プリント基板検査装置用の例を示したものであるが、マイクロ・リソグラフィや精密加工装置などにも本発明に基づくステージを用いることが出来る。

【0049】Y軸方向移動台120はフレーム122を有していて、X軸方向移動台124を支えている。両移動台の動きはリニア・モータ及び空気軸受けにより規制されている。各リニア・モータのステータとスライダとの間の引力によりリニア・モータの線形軸受けには与圧が掛けられている。Y軸方向移動台120を構成しているフレーム122にはX軸方向移動台124の動きを規制する案内面126及び127が設けられている。両案内面は2本の側方122レール128により連結されている。(128と同じものである前方のレールは図示されていない。) X軸リニア・モータのステータ129はX軸案内面126の内部に埋めこまれていて、空気軸受けハウジング131に取付けられているX軸スライダ130を引き付けていて、5個のX軸空気軸受けの内132、133、134、135の内の4個に与圧を掛けられている。別個の磁石136と強磁性与圧ストリップ137とにより空気軸受け138に与圧が掛けられている。各軸受けには回り継手が設けられているので、軸受け自体が回転出来るだけでなく、軸受けパッドも2軸を中心に回転することが出来る。従って、空気軸受けはパッド面に垂直な方向の移動が阻止されているだけである。

【0050】X軸方向移動台124は検査対象14を保持し、5個の空気軸受けにより動きが制限されている。空気軸受け132、135はX軸方向の動きの縦揺れ及びZ軸方向の垂直な並進を防止し、空気軸受け133及び134はX軸方向の動きの偏揺れ及びY軸方向の水平な並進を防止する。ハウジング139に収容されている空気受け138は、X軸移動台の横揺れを防止し、X軸移動台のZ軸方向の垂直な並進を規制している。検査対象保持アセンブリ140は、X軸移動台の軽量な複合フレーム141に取付けられている。ステージ12は新規な特徴を幾つか備えている。新規な特徴の一つはリニア

・モータを用いてステージ12を両方向に与圧して、揺れを防止していることである。これは断面が三角状のX軸スライダ用鉄心130の配置とステータ131の角位置とにより、磁石の引力が4個の空気軸受け132、133、134、135の総てにある角度で作用することにより達成される。別の特徴はリニア・モータのステータ129がX軸案内面126の両壁に対してある角度をなすようにX軸案内面126に埋めこまれていることである。

【0051】また、検査対象保持アセンブリ140のフレームにカリフォルニア州(California)のヘクスセル社(Hexcell)製のブルー・シール(Blue Seal)のようなハニカム材料を用いたことである。ハニカム材料の採用によりステージは堅固なままでその質量を減少させることが出来る。図8は図7の線8-8に沿った断面図であり、ハニカム構造を示している。蜂の巣構造のインサート142が表皮143に挟まれている。底板144と上板145が表皮143に接続されていて、インサート142を取り囲む箱構造が形成されている。このハニカム構造を、カリフォルニア州にあるERG社製デュオセル(Duocell)のような軽量な複合材料に置き換えても構わない。複合物に個体片146を取付ける方法も新規である。個体片146は、図9に示すように、複合壁の一方の表皮を貫通して設けられ、壁の貫通部分の周囲、個体片と対向表皮の内側との間、及び個体片と反対側の表皮及び板144との間に形成された継手147により上板か底板に取付けられている。

【0052】[実施の形態の動作]

[アラインメント] 自動検査を実行する前に、操作員はマスクを適切な向きに配置して「検査領域(care area)」を定義してコンピュータに教えなければならない。

図3には、検査対象であるマスク又はレチクル14に形成されている複数個のダイ33、35、37を検査するための蛇行路31の望ましい向きが示されている。検査中に、ステージ12が蛇行路31に従って蛇行移動し、又レーザ光線をマスクのY軸に平行に偏向する。ステージ12がX軸方向に移動するので、レーザ光線のY軸方向のこの偏向により生ずる偏向幅に対応した幅のスワス39が掃引の軌跡として生じる。通常マスク14の軸はステージの駆動軸に平行ではないので、ステージをX軸方向及びY軸方向に同時に駆動しなければならない。そのためには先ずステージの両軸方向の移動速度の比率を定義しておかなければならない。そこで、操作員はある一つのダイのX座標上の識別出来る2点を選択し、表示装置22の映像を観察しながら、両選択点の一方から他方までステージ移動させる。この時自動基板検査装置は干渉計(図示せず)で両駆動軸に沿ったステージの移動距離を測定して、両点の位置を識別する。この測定によりマスクのX軸及びY軸に対するステージの両駆動軸の方向余弦が得られる。この時、いわゆるダブ型のプリズ

25

△66 (図2) を回転してレーザ光線の偏向方向がステージのX軸方向の移動に垂直になるように設定する。次に、操作員はダイの検査領域44を指定する (図3)。
 【0053】 [位相シフト量測定のための較正] 位相シフト量測定モードでは、レーザ・スポットがマスク面そのものであってそれと平行で透明且つ平らな表面上をY軸方向に走査すると、図11に曲線200で示すように透過光強度が正弦曲線を描いて変化する。その理由は以 *

$$I = A \sin [(2\pi y/W) - D] + I_0 \quad \dots (2)$$

【0055】 上の式において、A、w、D、 I_0 の値は初期化の一部である位相シフト測定のための較正中に総て決まる。レーザがマスクの平坦で均一な透過面を走査しているときには、各画素の強度はデジタル化されて、コンピュータが具備するメモリに記録される。従って、*

$$A = (I_{\max} - I_0) / 2$$

【0057】 I_0 及びAはいずれも透明な領域と位相シフト材料で覆われた領域とは相違するので、両領域のそれぞれについて決定しなければならない。量Dは位相シフト材料の厚さの線形関数なので、この関係は様々な厚さの位相シフト材料の公知のサンプルの較正により決定することが出来、検査装置の寸法が一定である限り一定である。

【0058】 [検査プロセス] レチクルの自動検査は通常は検査領域の左上の隅から開始されて、蛇行路31に沿って進む。ステージがゆっくりとX軸方向に進む間に、レーザ光線はY軸方面に素早く前後に掃引される。このようにして、レーザ光線の掃引幅に対応した幅のスワス39の軌跡が生じ、この軌跡に沿った走査が行なわれ、検出器のデジタル出力は、電子式サブシステム20が具備するメモリに記憶される。前出のスワス39が第2のダイ35の検査領域の左の境界に到達すると、ダイ33から得られ電子式サブシステム20に含まれるメモリに記憶されている画像データが、ダイ35から得られたデータと比較される。両者にかかなりの相違がある場合には、欠陥と判断される。同様に、ダイ37からのデータもダイ35から得られるデータと比較される。走査がダイ37の検査領域の右側の境界迄来ると、ステージがスワス39の幅よりも僅かに少ない量だけY軸方向に移動し、X軸方向に沿って逆戻りする。このようにしてダイの検査領域を蛇行路に沿って走査する。ダイが一個しか設けられていないレチクルの場合に通常実施されるダイ・ツー・データベースと称する比較検査は、データベース・アダプタ18により生成されるシミュレーション像とダイとを比較するというを除けば、ダイ・ツー・ダイの比較検査に類似している。図3にダイ・ツー・データベースの比較検査用蛇行路31を示す。

【0059】 [再検査] 欠陥の自動検査の完了後に、操作員はコンピュータ24を操作して、発見された欠陥領域に戻るようにステージ12を移動させ、そこにステージ12を固定して、個々の欠陥を再検査する。両音響光

26

*下の説明から明らかになる。今、強度をI、原点から問題の画素までの距離をy、鏡118の傾斜角の関数である定数をw、位相シフト材料の厚さにより通過距離が変化するために生じる位相シフトの量をD、強度の半振幅をA、光学素子の迷光による強度の片寄り204を I_0 とすると、強度Iは、次の式で表される。

【0054】

【数2】

10 * I_0 は全サイクルにわたる強度の平均値であり、Aは次式から得られ、値wは正弦の周期である。

【0056】

【数3】

... (3)

学スキャナ40、42を用いてY軸 方向に沿って走査し、振動鏡65を用いてX軸方向に走査して、デジタル化された画像を表示装置22に表示する。この再検査ではどの検出器の出力を用いても良いし、2個以上の検出器の出力の組み合わせを用いても良い。あるいは、異なる検出器の出力を表示手段にスーパーインポーズ (重畳) して、それぞれを別個の色で表示してもよい。

【0060】 [位相シフト材料の厚さの測定] 図10に位相シフト型マスクの断面の一例を示す。ここに示す例は特定のマスクに関するものであるが、どのようなマスクも位相シフト材料の厚さを制御しなければならないので、以下に述べる技術はあらゆる位相シフト型マスクに適用することが出来る。基板160は表面に不透明部164が堆積している石英である。不透明部はクロムの薄い層である。位相シフト部161、162は透明な材料で形成されていて、クロムの不透明部164の一部及びこの不透明部164に挟まれている透明な領域の幾つか181、183を覆っている。即ち、この図では位相シフト材料は透明な領域181、183を覆っているが、透明な領域180、184を覆っていない。位相シフト部162の上面173は石英基板の上面174よりも高いので、石英基板の上面174と同一で位相シフト材料により覆われていない透明な領域180のサンプリング抽出点に対して位相が180度ずれる。

40 【0061】 位相シフト型マスクの欠陥は幾つかの要因により生じる。透明な領域ではクロムが余分に形成されていたり、埃が付着していたりする事等により欠陥が生ずるし、不透明部164のクロムが無かったりして欠陥が生ずることもある。このような欠陥は透過光検出器34 (図2) により検出される。この検出技術は先に述べた従来技術に属する。本発明の第1形態である基板検査装置並びに方法をもって、位相シフト部である層161又は162の欠陥を検出することが出来る。この欠陥には2種類ある。一つは位相シフト部の層の厚さが急に変

50 わる欠陥であり、今一つは位相部の厚さが一定であるが

所望の厚さではない場合や、所望の厚さから徐々にずれていくような場合の欠陥である。前者の種類の欠陥は、例えば、層161のくぼみ168がこれに該当し、透過光検出器34で検出することが出来る。即ち、凹み168のような欠陥があるとレーザ光が散乱してその部分だけ位相シフト材料を透過しなくなるので、透過光による画像に黒い点が生じる。位相シフト部161に示すように位相シフト部の層の厚さが不適切であるために緩やかな傾斜面172が生じている場合の欠陥は、以下に述べる干渉計により検出される。

【0062】位相シフト部162の上面173のようにマスク面に平行で完全に平らな好ましい面は、光路長Lでマスクが走査されるにつれて、鏡118の傾斜により基準光線の波面が基板の面に平行ではなくなるので、干渉模様が発生する（位相の変化の方向が曖昧になることを防止するために、鏡118の傾斜は位相部161のような表面の最大傾斜よりも大きくする必要がある）。位相シフト部162の上面173のような場合の検出器の出力は、図11に示すような正弦波である。上面173と平行であるが光路長L+Dに位置する平面である透明な領域180（図10参照）は、同じ周波数で曲線200に対して位相がDだけずれている正弦波を生成する。このDだけ位相のずれている第2の正弦波を波形202として図11に示す。

【0063】マスクがY軸方向に走査されると、透過光検出器34は個々の画素が完全に透明であるかどうかを判定する。完全に透明な画素のみで反射光の強度が測定されてデジタル化される。これは図10の下側に表示されている。同図には透過光検出器34の出力により不透明部164が走査されているかどうか判定され、不透明部164が走査されているときは、反射光検出器36の出力が無視されることが示されている。電子式サブシステム20は、強度値、画素のY座標、校正中に決められたA、w、I₀から式(2)のD及び画素の対応する光路長、即ち、石英基板の上面174より高い不透明部の上面の高さdの変化を決定する。正弦波には周期性があるので、360度の位相のずれに対応する光路長の変化を区別することは出来ないという曖昧さがある。しかしながら、360度の位相のずれを引き起こす急激な変化は、位相シフト材料に隆起部(ridge)が含まれている場合にしか生じない。ところで、隆起部は回折を引き起こすので、透過モードでこれを検出することが出来る。従って、360度の位相のずれにより生じる曖昧さはこのようにして解決されるので、位相シフト材料の厚さを総ての画素について継続して検査することが出来る。

【0064】実際には、マスク基板が像面に完全に平行であるということはないし、マスク基板が完全に平であるということもない。しかしながら、両変化は緩やかであり、1/5縮小投影露光用の位相シフト型マスクでは半径4〜5ミクロンまでの変化を考慮すればよい。特

に、互いに隣接した異なる領域間の相対的な位相シフト、例えば、符号180、162、184で示す領域相互の間の相対的な位相シフトが重要である。これらのサンプリング抽出点相互の離隔距離は4ミクロン未満である可能性が高い。

【0065】基板に欠陥のあることを示す程度の位相のずれがないかどうかを判定するために、位相シフト材料162により覆われている透明画素毎に光路長を計算する（図10）。この値を位相シフト材料により覆われていない部分の隣接した2点、例えば、点180と184における光路長の平均と比較する。光路長の差が露光波長(print wave length)での所定のしきい値を越えて許容値からずれている場合には、検査地点での位相シフト材料の厚さに欠陥の印を付ける。

【0066】自動基板検査装置は、同一領域内の異なるサンプリング抽出点における光路長を相互に比較して同領域内の幾何学的特徴であるICのレイアウトパターン(模様)を検査するほかに、このパターンを生成する際にその幾何学的形状に過不足が生じたかどうかの検査も行なう。ダイ・ツー・ダイ比較検査モードでは、ダイ33（図3）の画素173、180、184の光路長（図10）がダイ35の対応する画素の光路長と比較される。この比較によりダイ33及び35に同一の欠陥が存在する場合を除いて無視された幾何学的特徴が明らかになる。同様に、ダイ・ツー・データベースの比較検査モードでは、以前に指定された画素に関連した光路長とCADデータベース内の画素の情報とを比較する。

【0067】[別の位相シフト測定法]以上に述べた測定技術ではデジタル技術を用いて、網の目のように配置された標本抽出点(grid points)での相対的な光路長を判定し、各標本抽出点での位相シフト角を決定している。以下に説明するように、アナログ技術を用いて位相シフト角を調べると言う別の方法も実現出来る。

【0068】位相シフト角の判定に必要なアナログ式補助回路機構を図12に示す。この補助回路機構は図1の装置の符号208のブロックに挿入されるものである。反射光検出器36により得られるアナログ信号がアナログ位相検出器210の一方の入力209に供給される。アナログ位相検出器210の他方の入力211には数字によって制御される発振器212から別の信号が供給される。両信号の位相差に比例した信号を8ビットのA/D変換器214に依りデジタル信号に変換し、エンコーダ216及びデジタル低域フィルタ218を順にそのデジタル信号通過する。デジタル低域フィルタ218及びエンコーダ216は、透過光検出器34から得られるゲート信号により制御される。デジタル低域フィルタ218は積分器として機能し、マスクの検査地点が透明であることが透過光検出器34により示された時にのみ入力を受付ける。エンコーダ216はA/D変換器214の8ビット出力信号を受け取る。その地点の画素が透明で

ある場合には、エンコーダはデジタル信号の最上位の位置にゼロを挿入して、残りの信号を位相信号として電子式サブシステム20に転送する。透過光検出器34により画素が不透明であることが示された場合には、デジタル信号は総てが1として符号化され、11111111になる。この信号は電子式サブシステム20に対して位相信号が無効であり、無視すべきものであることを示す。上に説明した回路機構は、マスクが完全に平ではないような場合のように緩やかに変化する現象により生じる位相の緩やかな変化に従う位相ロック・ループ(PLL)回路である。エンコーダ216の出力は、有効な場合には、局部領域の光路長の変化を示す。

【0069】[前記別法に依る位相光学システムの搭載] 場合によっては、相対的な光路長から位相を推論するよりも、実際の位相を直接に測定することが望ましいことがある。これは透過光干渉計を用いることにより達成される。透過光干渉計を使用し、反射及び透過の両干渉パターンの同時測定を行なうことが出来、透過光モード又は反射光モード又は両モードのいずれかによる測定の可能な変形例の概略を図13(a), (b)に示す。簡略化のために図2と同じ素子は省略してある。

【0070】この変形例を透過モードで動作させるには、図13(a)に示すように、ビーム・スプリッタ60からの光を反射して、傾斜鏡232、対物レンズ234、別のビーム・スプリッタ236を取る光路231を介して透過光検出器34に到達する基準光線を生成するペリクル・ビーム・スプリッタ(pelicle beam splitter) 230を付け加える。基準光線と光路240に沿って進み基板14を透過する撮像光線との干渉が透過光検出器34により検出される。

【0071】反射光モードでは、図13(b)に示すように、基準光線がビーム・スプリッタ60により2つに分かれ、一方が鏡118に向かって光路250上を進み、鏡118により反射されて反射光検出器36に入射し、他方が透過して基板14に向かって光路260上を進み、基板14で反射して光路260上を戻って、ビー*

$$\tan G = \frac{S_2 - S_1}{[a^2 - (S_2 - S_1)^2]^{1/2}} \quad \dots (4)$$

【0074】により得られる。線の一方の側端の傾斜が解かると、反対側の側端も同様に位置している可能性が高く、先に計算した一方の側端に平行であるかどうかを確かめることが出来る。線の両側端に沿った強度に基づいて、線幅を制御用コンピュータ24により計算する。通常はここに述べた線の測定法は、厳密に言えば、表面領域が位相シフト材料で覆われていない従来のマスクにのみ適用可能である。しかしながら、ここに述べた技術は位相特性の測定にも使用することが出来る。何故ならば、位相シフト材料に覆われていない領域と、位相シフト材料に覆われている領域との境界では入射光線の回折

*ム・スプリッタ60により反射されて撮像光として反射光検出器36に入射する。両入射光は反射光検出器36で干渉し合う。当然であるが、この変形例でも反射透過の両モードによる位相の同時測定が可能である。レーザ光線では反射及び透過光の両干渉モードにおいて干渉性である距離が制限されているので、撮像光線の光路と基準光線の光路とは光路長がほぼ等しくなければならない。

【0072】[線幅の測定] 図14にマスクの小さな部分270の平面図を示す。領域272は透明であり、線274がこの領域を横切っている。領域274は、クロムまたは他の材料で形成されているときは不透明であり、マスクの石英基板が位相シフト材料により覆われている領域であるときは透明である。自動基板検査装置は網の目状に相互に等間隔に配置されているサンプリング抽出点276で強度を測定する。以下に詳述するように、強度の測定は線幅、即ち、線274を横断する距離278の測定に用いられる。

【0073】格子点276の各々で光強度が、ICパターンがその透過率特性を有する光学系と考えた場合、その点拡散関数のたたみ込み(convolution)で表現出来る事に注目すべきである。当然ここで、典型的な透過プロフィールは階段関数であるから、図14に示すような直線の場合には、特定のサンプリング抽出点の強度はその抽出点から線274の側端までの垂直距離の一次関数である。従って、線274の近くの特定のサンプリング抽出点280又は282の強度は、その点から線までの垂直距離とみなすことが出来る。この距離は制御用コンピュータ24(図1)で予め数表を作製しておき、その簡単な参照動作をすることにより得られる。このように標本抽出点280、282の強度により距離S1及びS2がわかるので、標本抽出点280と標本抽出点282との距離をa 角度284をGとすれば、線の側端の傾斜は次式

【数4】

が生ずるので、この境界では光が透過しないからである。線幅は一方の側の境界の中心と反対側の境界の中心との距離である。

【0075】さて、本発明の基板検査装置並びに方法の第2形態に進む。本発明の第2形態に関しては、以下の論議から解かるように、先のダイ・ツー・ダイ比較法とはその装置面のみならず方法面に於ても全く異なるものである。既知のダイ・ツー・ダイ比較技術に於ては(或いはダイ・ツー・データベースもそうであるが)検査される基板の種々特性を既に正しいと即ち良品と解かっている他の同様な基板上的ダイ或いはデータベースと比較

するものであった。この既知の方法では、二つの光学筒を用いて得られる二つの同じような情報に関して同時処理を必要とする、と言うのはダイ・ツー・ダイ比較では検査されるダイと参照するダイとを上述のように二つ取扱うからである、即ち結果はデータ処理とそのハードウェアが膨大なものになってしまう。以下に示すが、本発明の第2形態では全ての検査作業を唯一の光学筒を用いて達成するようにしてあり且つ検査される基板に関してのみデータ処理をすれば良い。以下に示すように、これは基板から発する二つもしくはそれ以上の透過光と反射光の信号対の関係を解析し且つそれ等の誘導関数を解析し又透過光と反射光の信号を単信号としての各々の特性を調べ、又それ等の二次微分を分析して達成する。

【0076】〔システム概観〕本発明の第2形態に関し充分な説明を加えその理論と動作を知る、或いはそれから派生する全ての変形を論ずる前に、システムの基本構造を図15と更なる詳細な内容を図16に示すがそれ等は、本発明の第1形態を表現している図1、図2と各々大変に類似しているものである。図1と図15の違いは、データベース・アダプター18が本発明の第2形態に於て不要である点にある。同様に図2と図16の違いは、ビームスプリッタ60の左に伸展して存在する位相シフト兼線幅測定部を本発明の第2形態では不要とする点にある。しかし簡単化されたとは言え、本発明の第2形態の技術を用いると、検査に使うのと同じ透過光データだけで、位相シフト且つ線幅測定は実行可能なのである。図15と図16から自動光学検査システム10が三つの特別なシステムを保有する事が解かる、即ちそれ等は、レーザ光学系11、XYステージとサーボドライブ12から成るサブシステム並びに表示器と電子制御サブシステム19である。図15は基板14がXYステージ12上に置かれて欠陥検査を受ける様子をも示している。上で述べたが透過光、反射光の観察は同時でも別々でも良く、照射光線に要求される他の諸条件を優先して構わない。以下に動作理論を詳しく展開するが、動作に必要なのは、透過光線と反射光線のそれぞれと、それ等の信号の誘導関数を用いて欠陥の存在を示すプロセスが最重要になる。

【0077】透過光検出器34から得られる透過光強度と反射光検出器36から得られる反射光強度は、システムが先ず必要とする二つの測定値である。同時にシステムはこの二つの測定値を比較する能力を必要とするので比較器を導入する。これ等二つの測定値は、データを処理して欠陥を発見した時はその存在を提示するが、この時透過光と反射光は基板と同一点から発せられたものである必要がある。一例を述べると、透過光検出器34から得られる透過光強度について、クローム点欠陥と欠陥粒子は共に透明基板上で不透明であり、暗い出力(低い信号強度)しか発しないが一方、反射光に於てはクローム点欠陥は金属的な強い反射光を発する、一方通常の欠

陥粒子では、光はそんなに強く反射しない。それで一例であるがクロームにて形成されたICパターン図形上にある欠陥を探索する際、透過光と反射光を共に用いて始めて可能でありもし一方の光のみで試みてもうまく行かないのである。一般的に言う、或種の欠陥の個性的な特徴は、それは欠陥の「署名」とも言えるが、透過光と反射光強度の比に良く現われるのでその比を測定して探索の緒とする事も可能である。それで次にここで得られた情報は、欠陥を自動的に分類する為に使うことが出来る。

【0078】〔XYステージとサーボドライブ〕XYステージは精密な基板のドライバーと言えるが、電子式サブシステム20が制御を司るようになって居り基板14はその全面積が入射光でもってカバーされる如くレーザ光学11の光軸に関して垂直に蛇行運動をするように構成され、かくして基板の全面を隈なく照射する事が可能であり、この事は基板全面が検査可能である事を意味する。本発明の第2形態に関わる検査システムでは、ステージ12は空気ベアリングに基づくXYステージであり、リニアモーター即ちサーボ系がこれを駆動する時にその軸は図に示していないが光の干渉原理に基づく方法で監視制御されていて、このような機構の一例としては、モデルTIPS Vがあり、そのメーカーはTelectrac Corporation である。

【0079】〔電子制御サブシステム〕図1に示されるように、電子制御サブシステム19は、いくつかの要素から成立っている。電子式サブシステム20と制御コンピュータ24、キーボード26とディスプレイ22がこれに含まれる。キーボード26は、ディスプレイ(表示装置)22、制御コンピュータ24に回線で繋がり、ユーザインターフェイスとして、本発明の第2形態である基板検査装置の構成要素となる。その上に、電子式サブシステム20は、XYステージ12、透過、反射光検出器各34と36及び制御コンピュータ24とも通信回線でもって互いに繋がる。制御コンピュータ24は、オペレータ・コンソール(操作員操作卓)として機能し、従ってシステムのマスター・コントローラと言えるものであり、米カリフォルニア州 Mountain View市にあるサン・マイクロシステムズ社(Sun Microsystems)製スパーク・コンピュータ(SPARC Computer)が一例であり、この制御コンピュータを通じて全てのオペレータ或いはユーザ設備とのシステム・インターフェイスとしての役割を担っている。制御コンピュータ24は、全ての他のサブシステム等に向けてコマンドを発し且つ又それ等サブシステム等の現状をモニタしてオペレータ(操作員)に割当られた仕事を完了させる。電子式サブシステム20の機能は、制御コンピュータ24によって出されたコマンドを解釈して、そして実行することにある。これ等の機能は具体的には、透過、反射光検出器各34と36からの出力信号をデジタル化する、入射光強度が時間変化する

る場合はその読取り値を補正する、ステージ 12 の動きを追跡する干渉計の出力を集積する、ステージ 12 のサーボに駆動力を供給する、そして現状を報告するセンサ類のデータをモニタする等々である。

【0080】【動作理論】瞬時でも或いは連続的にでも透過光検出器 34 は、基板 14 を透過して進む透過光を受けてその強度に比例して透過光電気信号 15 を出力する事が出来る。透過光信号 15 は、それから増幅され、電子式サブシステム 20 にて信号ピーク間の振幅値を 0 と 1 の間の値に正規化されそしてオフセット化（原点調整）される。同じく、反射光検出器 36 は、瞬時でも或いは連続的にでも、基板 14 から反射して進む反射光を受けてその強度に比例して反射光電気信号 17 を出力する事が出来る。同様に、反射光信号 17 は、電子式サブシステム 20 に入力して、信号ピーク間の振幅値を 0 と 1 の間の値に正規化する。本発明の第 2 形態に関して議論を進める為に、基板 14 は不透明な層を有しその下の基板 14 の素材を覆うものとする。その不透明な層は、レーザ入射光 13 の大部分を反射してしまい、その下の基板 14 の素材からの反射は少ないと言うモデルを考える。例えば先行技術で知られているように、488nm の波長に於て反射防止型クローム（不透明な層）は反射率 11% だがその下の基板素材の石英はそれが、4.5% と低い。

【0081】図 17 は、光ビーム 13 が基板 14 の表面を走査しつつ進むと言う仮説のもとで、各々正規化透過光信号と正規化反射光信号 350 と 352 を示すが、ここで横軸は時間或いは走査距離と考えて良い。光ビーム 13 が基板 14 の表面の覆われていない露出部である透明石英面を走査する時は、正規化透過光 350 信号のレベルは 1 であり正規化反射光信号 352 のレベルは 0 であってこれは図の領域 340 に示した。更に、光ビーム 13 が基板 14 の表面の覆われている不透明層上を走査する時は、正規化透過光 350 のレベルは 0 であり正規化反射光信号 352 のレベルは 1 であってこれは図の領域 342（遷移領域）に示した。光ビーム 13 が基板 14 の表面の覆われている不透明層或いはクローム回路図形の端部に来た時は、正規化透過光 350 のレベルは 1 から 0 へ変わり、一方で正規化反射光信号 352 のレベルは 0 から 1 へと変わるのであって、この事情は図の領域 341 に示した。

【0082】以上の仮説ではもし欠陥さえ無ければ、基板 14 の上の同じ点に於て透過光信号と反射光信号の関係は常に互いに補完的であるので、その結果それ等の和は一定値即ち不変である。この模様は、図 17 に於て和信号 354 があって各信号 350 と 352 から 0.5 のオフセット（ずれ）となって示してある。かくして、もし和信号に於て前記特性からの逸脱があれば、それは欠陥の探索信号と解釈する事が出来る。以下の文では、本発明の基板検査装置並びに方法の第 2 形態に於て、この

仮説モデルの幾つかの欠点述べ且つかかる欠点を全く無くする。即ち最終的には、以下好ましい実施の形態を詳述する事に依って前記欠点に支配されない方法を提供する。

【0083】図 18 には現実的な光学系に於て、そこで観察される典型的な諸信号を図 17 と同様な状況で示した。描かれているのは、透過光信号 370、反射光信号 372 と和信号 374 であって左端では 0.5 のオフセットが見られ、これは図 17 の領域 340 と同じ状況である。図 18 のこの領域では、信号値は欠陥が無い場合の透明基板の代表的例である。図 18 に於て、正規化光信号 372 に凹線 373 が観察され結果として和信号 374 にも凹線 376 が観察されるが、これは基板 14 上の不透明クローム図形上の欠陥に起因する。図 18 で正規化透過光信号 370 にて右端に見られる凹線 371 と、対応する正規化反射光信号に 372 に見られる凹線 375 とは結果として和信号 374 に凹線 377 を形成するがこれ等全て基板 14 上の透明露出部上での粒子汚染に起因する。前記の典型的状況の場合、図 17 の 341 領域と同じように和信号 374 も遷移点で一定値 0.5 の値からずれて逸脱する事に留意するべきである。

【0084】これらの遷移領域は基板 14 上でクローム図形端部の近傍点（これは基板上の不透明層と露出している透明基板素材の境界点）と一致する。そのような逸脱の例は、図 18 に於て凹線 378 として現われる。そのような逸脱が凹線 378 として現われるのは、基板 14 上のクローム図形端部での光散乱現象に依るものと、透過光と反射光との光路が部分的にコヒーレンス・パラメータのミスマッチを起こす事に起因する。典型的なケースでは、和信号に於てクローム図形端部で見られる一定値からの逸脱はその幅に於て基板 14 の上のサブミクロンサイズの汚染で凹線 377 の場合と凡そ同程度である。従って、反射光信号 17 と透過光信号 15 との和信号を用いてサブミクロン粒子汚染とクローム図形端部に関して十分に良い識別をする事は出来ない。基板 14 上で、現実的且つ実現可能な光学のサブシステムをもって自動的に表面のクローム図形と汚染を識別可能にする方法については、以下の図 19 から図 22 に示そう。

【0085】図 19 は、基板 14 上を光ビーム 13 が偏向し走査する時その各点で、各正規化透過光と反射光信号対の一群を示すが、この場合欠陥は一切無いものとする。図 19 では、正規化透過光信号は横軸 400 に対してプロットしてあるが、基板 14 上で同一点に於てこの透過光と対をなす正規化反射光信号は縦軸 401 に対してプロットしてある。以上、図 15 の系に於ける結果について述べたが、電子式サブシステム 20 は、透過光信号 15 と反射光信号 17 を共に 0 と 1 の間の値に正規化し且つオフセット化する。それで例えば、図 19 の領域 450 の信号対は、基板上では反射光信号が透過光信号に比べて格段に大きい点に対応しており不透明層即ち

クローム層を意味する。勿論、不透明層即ちクローム層は入射光を減衰させる為に透過光は小さいが一方に於てその反射率は11%にも及び反射光は光検出器36に入射される。同様に、図19の領域452の信号対は、レーザビーム13が石英基板の露出部を走査する場合に対応している。領域452の値は光ビーム13を相当量透過させるような基板14の点から得られる結果で透過光は大きな値として検出されるが、一方に於てその反射率は4.5%と小さく検出される。それで、図19の中間領域455はレーザビーム13がクローム図形の端部を走査している場合を表す。

【0086】T-R (Tは透過光をRは反射光を表す)空間に於て(座標系は横軸がTで縦軸がR)現実的且つ実現可能な光学的サブシステムの実験結果を曲線420で示すがこれはなだらかな包絡曲線421で囲まれた領域の中に包含されている(留意すべきは、曲線420の形は諸条件で変わって来る事であり、その要因は、レーザ光学系11の動作特性、基板14の素材とその表面状態等である。従って、各光学系とか基板の素材の設計に依ってそれぞれ独特な曲線420をT-R空間で形成する)。それで、基板14上の各々の観察点、もしくはピクセルは、T-R空間にて点として表され、そこでのT値、R値がそれぞれ透過光及び反射光の正規化された信号値として理解する事が出来る。透過光及び反射光の正規化された信号値を与えるピクセルがもし許容包絡領域421の中にある時は、欠陥は無しと考える事が出来る。それ以外のケースは全て欠陥の存在を意味するかもしれないが、検査が実行されるに際して許容値があり、あるピクセル対がその許容範囲を越えると欠陥と考えられるのであるが、その許容範囲は包絡領域421の幅及びその境界の曲線420からの距離で決められる。

【0087】包絡領域421の幅はかくして検査許容値を意味するが曲線420上の点に依って種々の条件で変わるのでユーザは、その許容値を調整する事が出来るので、有害な欠陥は厳しく又有害で無い欠陥は緩めれば良い。一例を述べると、基板上の露出部での欠陥を同定する際の感度と不透明クローム膜上の粒子欠陥を同定する際の感度とを別々に独立して決める事が出来る。ユーザは、必要に応じてT-R空間全体を含んだ複雑な許容値のセットを設定する(包絡領域421の幅はT-R曲線420に沿って均一である必要は無い)事が出来る。ここで、本発明の第2形態である基板検査装置の一つの特徴は図19のT-R座標空間系に集約されると言う事で、それで、上述の許容値を決めそれで包絡領域421が定義されておりその範囲からT-R曲線の構成点が外に出た時は、実空間でのその存在場所はどうかであれ欠陥が確認された事になる。今迄のところ、基板のアラインメント(位置関係の)仕様に関して或いは、欠陥の存在場所の座標をメモリの中でどう管理するかについて

は、未だ触れていない事に注意すべきである。先願と違い、本発明のシステムは比較法ではないので基板上の欠陥の位置即ち物理的座標を知って欠陥を実際に再確認する必要はない。全ては、各検査に際しての基板の表面条件に従って正しい許容値を決める事、そして包絡領域421の定義に従ってその範囲からT-R曲線の構成点が外に出るかどうかを調べて、もし出た点が見つければ、欠陥が確認された事になる。

【0088】本発明の第2の実施の形態である基板検査方法に於ては、T-R曲線の構成点が連続的である必要は無く、又重要でもない事を述べておく。例えば、第1点は450で示される領域に来る事もあろうし次の55点は452領域に来るかもしれないし、更に次の6点は再び450領域に来て次は1点が455領域そしてその又次の2点が再び452領域等々と続く場合もあって、それでも良いと考える。即ち、欠陥の存在を確認するのに前記の状況での事柄の順序も又重要でないと言える。

【0089】本発明の第2形態である基板検査装置及び方法の開発時に他に先駆けて発見した特徴は、T-R曲線の構成点のT-R平面内での位置は基板表面の単位ピクセルの物理的特性を、或いは欠陥の場合はその種類を表す事が解かった。それで、本発明の第2形態である基板検査装置及び方法の第2の特徴は、自動欠陥分類を実施するに当たって、前記のT-R探索空間を応用する事である。これ等の発見及び考案をもって、本発明の第2形態である基板検査方法は少なくともT-R空間を使って欠陥の種類を同定する課程を有する事にある。それを行なう為、T-R空間で欠陥無しとされる包絡領域421を先ず決めるならば、検査されている基板14の上ピクセルに関して、T-R対が作る曲線の構成点を見て、それが包絡領域421の外か内かで欠陥か非欠陥かを直ちに決定する事が出来る。その上、T-R対が作る曲線の構成点の位置でもって、もし望むなら、欠陥の型と種類に関しての解析を可能とする。前記の如く無欠陥境界を決定する方法で使う平面座標系の図形並びに種々欠陥分類する為のゾーンを含む図形を総合的にT-R参照地図と命名し更に以下に議論を進める。

【0090】本発明の第2形態である基板検査方法では、TとRで代表される基板上の一点での測定値にだけ依存するようにしているので、欠陥探索プロセスは、参照比較(ダイ・ツー・ダイ或いはダイ・ツー・データベース法)に依存することではなく、従って基板を全くアラインメント(位置合わせ)する必要も無く、この点も米国特許第4,926,489号と異なるところである。前記を確認した上で、全体的位置合わせ課程を導入し基板を参照格子に位置合わせすると、もしユーザが望むなら、レチクル基板上で欠陥の存在位置の決定に役立たせる事が出来る。しかしながら上に述べたように良、不良を検査するだけなら、欠陥の物理的位置情報は無用である。

【0091】図20は、代表的なT-R参照地図であってこの議論に関心のある基板で種々の欠陥領域を有する場合についてプロットしたものである。一例を述べると、反射防止型クローム図形上にある粒子汚染は、470領域に代表される如く低いT値を有し中間のR値を持つだろうし、露出基板上にある粒子汚染は、474領域に代表される如く高いT値を有し低いR値を持つだろうし、クローム図形の端部にある粒子汚染は、472領域に代表される如く広い範囲のT値とR値を持つだろうが、この場合共に低い値、或いは一つだけ高い値で他は低い値とか諸々になろうし、反射防止型クローム図形があるべき所に無い様な欠陥では、478領域に代表される如く高いR値と低いT値の組合わせになろうし、大きな欠陥の場合は、480領域に代表される如く共に低いT値とR値を持つだろうし、反射防止型クローム図形がエッチングで薄く残った汚染膜では透過性を有し、特性曲線420の右上の領域481にピクセル点が来るのである。

【0092】或種の欠陥の場合、T-R成点のみでは欠陥探索に於て感度不十分な事（T値或いはR値の変化が基板14上のこのピクセルに関し充分でない事もある）も起こる。そのような或種の欠陥とは、石英基板内部に完全に潜っている例が考えられる。上の例では、透過光信号値Tは若干変わっても、反射光信号値Rは全く変わらない。図20から解かるように、正規化特性曲線420は大きいT値に対して勾配はやや小さくなっている。それ故に、例え透過光信号値Tだけが変わってもT-R構成点の組み合わせで考えると包絡領域421の外にはみ出る事は起らず従って、T-R空間のみでは検知不可となる。

【0093】しかしながら、もし仮に正規化透過信号値を走査距離に関して二次微分演算 T'' を行ない透過光信号値Tに対してプロットして見ると、 T'' は「端」の存在を表し図21のようになり、上述の如き不可能であった欠陥ですら同定出来ることがわかる。図21に示するような座標平面を $T-T''$ 検知空間と呼ぶ事にするが、更に本発明の第2形態である基板検査装置及び方法の第3の特徴は、自動欠陥分類を実施するに当たって、この $T-T''$ 検知空間を使用する事である。 $T-R$ 空間と同様、 $T-T''$ 参照地図が考えられるが同様に欠陥無しの領域に注目すると、包絡曲線506で囲まれる領域に相当するが、他にも興味ある領域は存在する。この場合、透過光信号に変化がもたらされると520域内であってしかも包絡曲線506で囲まれる無欠陥領域の外側で $T-T''$ 曲線に変化に対応する点が形成される、即ち新たにプロット点が見い出される時、稀に観測ピクセルがクローム図形端部の近傍にあって欠陥とは異なると言う紛らわしいケースも発生する。従って、 $T-T''$ 空間のみでは、端部と欠陥の必要な区別は出来難い。この状況に於ける検査を以下に更に突込んで説明しよう。

【0094】本発明の第2形態である基板検査装置並びに方法を開発している際、反射光信号Rに関しその二次微分値 R'' をRに対し上と同様にプロットする $R-R''$ 図の重要性を本発明者等が発見した。前と同様に図22は、 $R-R''$ 空間を描いているが、この活用は本発明の第2形態である基板検査装置並びに方法に於ける第4の特徴であると言える。特性曲線603は、 $R-R''$ 空間での $R-R''$ の基本的な関係を示しそして領域607は、欠陥でないピクセルの集合から構成されこれが最も関心ある領域と言える。一つの興味ある領域は、仮に考えられる無欠陥607領域でありこれを中心に、 $R-R''$ 参照地図が考えられる。その他関心を寄せるべきは、605域であってこの中に存在するピクセルがある時は、多分レーザ光が不透明膜上を走査している状態を示すと考えられ従って、R値は高く、T値は低く、 R'' も小さい。更に関心を寄せるべきは、609域であってこの中に存在するピクセルがある時は、レーザ光の走査は仮に石英の露出部上にて行なわれている状態を示すと考えられる。更に三番目関心を寄せるべきは、630域内の点であって、クローム図形端部の近傍とは異なり、図21での $T-T''$ 空間に於ける520域にこの同じ点が存在する場合がある。以上の二条件が揃うと、このピクセルは透過率欠陥が考えられる。最後に、不透明膜であるクローム図形上に残留物の汚染があるとそれに対応するピクセルは、 $R-R''$ 平面に於て領域620に含まれて存在し、この場合相当するR、 R'' の値からそれは反射欠陥を意味する。

【0095】かくして今日の先端を行くマスク、レチクル基板上で、積極的に可能な限りの欠陥を探索し分類する為には、 $T-R$ 、 $T-T''$ 且つ $R-R''$ 空間でどの欠陥対応領域にピクセルが分布するかを調べれば良い事が分かる。そこでこの情報をもってすれば、電子式サブシステム20でもって座標情報と前記欠陥対応領域とを関連づけて前記各超空間に関して別々に欠陥対応領域毎の（452、455、470、472、472、478、480、481、505、507、509、520、605、607、620、630の各領域等々）レポートを発生する事が可能である。更に、以上のようなレポートをもって電子式サブシステム20はその後論理的に前記複数レポートを加え合わせ意味ある「最終レポート」に纏め上げる事が出来るが、このレポートは前記各 $T-R$ 、 $T-T''$ 且つ $R-R''$ 空間との関連に於て種々な情報を含む事になる。この「最終レポート」はピクセルの型コード及び2進数に依る欠陥表示値を示す事が出来、ここに欠陥表示値とは欠陥の存在或いは非存在を示すものとする。

【0096】このような情報をもってして、且つ特にプログラムする事に依って多くのレポートをこのシステムは発生するように出来る。その一例は、全基板上で欠陥の種類別に分類合計を計算する等である。多数の欠陥の

「型分類項目」が考えられるが、これは二つの変数、 T 、 R に於て $T-R$ 、 $T-T''$ 及び $R-R''$ の組み合わせが、前記のようにそれを活用し得る為である。しかしながら前記で論じたように、例えば或種の透過不良のように、図21の $T-T''$ の520域と同時に図22の $R-R''$ の630域でもピクセルが存在して始めて欠陥として確認される形で見つかる場合がある。

【0097】前記例では、透過不良の「最終レポート」は二つの別空間から共に透過不良の事象が有って始めて報告されるようになる。この種のレポートでは論理積のANDが実施されるがその条件は、 $T-T''$ 空間で520域にピクセルが存在し且つ $R-R''$ 空間で630域でピクセルが報告された時に限る。前記両方の出来事が明白に確認されて始めて、透過率欠陥型の欠陥の存在を示す「最終レポート」を発生する。よって、最終の欠陥探索とその分類作業は多数の中間レポートを前記で示した如く論理的に確認してその課程を経て達成する。

【0098】或種の欠陥は多数のレポート群によって特定条件下でのみ決定される、と言うのは前記で論じた欠陥不良がそうだし、一方他種の欠陥の場合は一つのレポート群のみで無条件に決定される。超空間の投影図を調べて見て解かった事は、或種の欠陥は二次元空間で決定されるし（この場合上述の一つのレポート群で可能なケースを意味し、 $T-R$ 、 $T-T''$ 且つ $R-R''$ 空間を用いる）他のもっと難しい例では三次元空間が必要になり（この場合上述の多数のレポート群で可能なケースを意味し、例えば $T-R-T''$ 空間を用いる）、それでも難しい場合は4次元或いは5次元等々となる。

【0099】それで、予めプログラムされている電子式サブシステム20が、必要な論理命令を必要な順序で実行して前記最終レポートを作るが、この時先に述べたように各領域からの個別レポートが先行して使われる。最終欠陥レポートは、先ず種々条件付きのレポートを全て集めてその論理積であるAND操作を適当な順序で行なって構成し、次に他の条件付きでないレポートとの間で論理和であるOR操作をして、もしいずれかの超空間の領域に欠陥がある時は、条件付きであろうがなかろうが、それを示すようにし（勿論超空間モデルは2つ、3つ、4つ、5つ等の各空間を考慮する）、それから次に欠陥分類コードも対応して示すようにして、欠陥の分類特性を示す領域がどれかを解かるようにする。

【0100】実際には、検査すべきレチクル基板が決まると、3種の検出超空間からの結果を集積して種々欠陥型分類された欠陥が検出されるが、この時4つのピクセルに関わる変数 T と R と T'' 及び R'' を使用するがこの間の詳細は上に述べたように二つの変数を組み合わせで二次元検出空間を構成する手法が、本発明の第2形態である基板検査装置並びに方法に於ける初期条件を単純化したものである。実際は、 T と R と T'' 及び R'' を四次元超検出空間として構成して、即ち四次元ベクトルを

取り扱って検査を実施する。更に追加すると、二次元に関しては図20～図22等で説明済みであるが、更に種々に平面分割して分類の為の超多次元的な項目分類領域を構成する時、もしも或る検査基板及び材料の組合わせに於て、先に述べた例での超空間群では不足の場合は、前記検出超空間の別の組合わせとして $T-R''$ 、 $R-T''$ 且つ $T''-R''$ 超空間を活用する場合がある。

【0101】検査済み基板で、もし欠陥無しとなったなら、 T と R と T'' 及び R'' を四次元超検出空間にて相当の相関関係を持つと考える事が出来るので、本発明の第2形態である基板検査装置並びに方法に於いてはこの冗長性を利用する事が可能であって、この事実は観察因子を対で解析し且つこの観察可能な因子、即ち四次元ベクトルの二つを選んで二次元の平面（以下サブスペースと呼ぶ事とする）に投影する事も出来る、即ち基本的には、四次元を分解して二つの座標系を選んで二次元の平面に投影する時三つの組合わせがあり、その方が視覚的に単純なので、欠陥に関して種々計算して同定する作業が簡単化されるのである。

【0102】それで、本発明の第2形態の別の実施の形態では、この事を効果的に使う事が出来て前記四次元ベクトルの或る二つ、例えば、 T と R'' を選んで上述の作業をしても良い。更に進めて、上述の代替の超空間は必ずしもここで述べる二次元平面への投影であることに留まらず、当然であるが全四次元超空間を欠陥検出にそのまま用いても良く、この事は上で推論的に述べた。

【0103】図24にてそのブロック図に示したが、更に進めて、測定された T と R 信号に関し交流フィルタをかけて変動し他の観察因子を発生させる事が出来る。例えば、測定値である T と R 信号とに加えて、他の高次元の観察因子のある測定値を用いて導入して相当する画像地図を創造する事が出来る。よって、上述の二次微分関数に加えて、より大きな特異係数を持ったたたみ込み演算子（コンボリューション・オペレータ）にて演算を実施すれば、他の信号が新たに得られてそれをもって別の解析が可能になろうしこれ等によって検査基板の新たな別の特性を明確にあぶり出す事が出来る。

【0104】更に一般化した議論を展開する。今、任意の数の観察因子（種々の次元の微分等の派生関数、又そのような選ばれた派生関数が限定的な信号値しか取らない事を考慮、積分関数、他の関数であって T と R を用いて発生させる）が与えられると、観察因子の超空間から派生する幾つかの任意のサブスペースを用いて解析する事が出来且つそのようなサブスペースは多次元即ち n 次元であってここに、 n は2から自然数 n の間で任意の値をとる。

【0105】既に論述したが、広範囲に行なわれる包括的欠陥検出法では低次元のサブスペースの観察超空間を使う場合はこのサブスペースの全てからの全情報を集める作業が必要であって、最終結果を出す時に参考にする

41

のが良い。特に図24に於ては、検査基板の表面の透過光成分と反射光成分のピクセル画像地図を用いて、700で示した実際の透過信号Tに対しM回の演算を実行し、702で示した実際の反射信号Rに対しN回の演算を実行した状況を、図示している。ブロックの最初の段に於て各々の種々演算は、一連のフィルタによって確認され、それ等は、 $f_x(T)$ と $g_y(R)$ にて表現されている。上述の課程で、フィルタ群 $f_1(T)$ 704とか $g_1(R)$ 706は各々全パスフィルタであって、フィルタ群 $f_2(T)$ 708とか $g_2(R)$ 710は各々二次微分フィルタなのでそれ等を通過すると、TとRは、夫々 T'' と R'' になる。ブロックの最初の段に示されている他のフィルタはここでは、 $f_M(T)$ 712及び $g_N(R)$ 714で表されて居て、T且つR信号に対し上とは別の機能で作用するので当然別の信号値を形成するがこれ等は基板14の他の特性を見極める上で有用である。

【0106】図24に於て、一段目のフィルタが考えられる二次元サブスペースを種々組合わせて欠陥検出を試みる事を意味するのでそのフィルタを通った種々信号を組合わせて、或いは少なくとも関心ある2つの座標の組合わせて成るサブスペースのフィルタを配合するのが、図の二段目の役割である。更に詳しく例でもって述べると、もしフィルタ $f_1(T)$ 704と $g_1(R)$ 706は各々全パスフィルタであるとし、フィルタ $f_2(T)$ 708とか $g_2(R)$ 710は各々二次微分フィルタとすると、ブロック716では $T-R$ 空間情報が集められ、ブロック718では $T-T''$ 空間情報が集められ、ブロック720では $R-R''$ 空間情報が集められ、ブロック722では $T-R''$ 空間情報が集められ、ブロック714では $R-T''$ 空間情報が集められ、ブロック726では $T''-R''$ 空間情報が集められる。図に於てこの段に示された他のブロックは他の組合わせの信号を集める事に依って、対応する二次元空間の信号値を提供する事を目的としている。

【0107】それから、図の二段目の各ブロックでの検出結果は三段目の論理的欠陥収集機能728に入力する。論理的欠陥収集機能728は実際は、二段目の各ブロックに於て、独自の欠陥信号対値を確認するべくプログラムされたマイクロプロセッサをもって実現させ、全欠陥に関わる包括的な報告、当然であるが二段目の種々のブロックの各信号対が表わしている欠陥全てを網羅しつつ、準備させるように構築する。

【0108】【二次微分値の計算】ここでは、TとR各々

$$[T''] = [L] * [T]$$

【0111】かくして、図23(b)で定義される二次微分マトリックス演算子の内容は、数学的には以下に表す事が出来る。

42

*信号から、上述の二次微分値の計算のやり方を論ずる。この変換の実施に点集合関数に関わるわけではないが、実際には画像の質を保ちつつ二次微分値の計算と解析する事が重要であり、その為には或るピクセルに関し、その近傍で多くのピクセルのデータが存在する事を要する。本発明の第2の実施の形態である基板検査装置並びに方法にては、参考データを還元して座標を持たない統計的表記にするのが有効である。参照地図は、或る観測点での基板の期待特性に関わる情報を保有するものではないが、どちらかと言えば、全体の中ではその観測点或いはその近傍領域での統計的特性を表現している。再び強調するが、本発明の第2の実施の形態である基板検査装置並びに方法に於ては、参考画像とテストされる画像とを直接比較する事は、一切必要が無い。即ち、ダイ・ツー・ダイも、CADを用いるダイ・ツー・データベースも、必要は無い。

【0109】二次微分値の計算方法を議論する前に、図23(a)を参照し、基板14上の今関心ある領域でのピクセルの透過光信号値に注目したい。議論の為、画像は各ピクセルの透過光信号値に依る行列即ちマトリックス $t_{x,y}$ として示してあって、そのサイズは、 $n \times m$ (n 行 m 列)なるマトリックスを意味する。ここで注目すべきは、基板14上の現検査領域でのピクセルの反射光信号値は同様領域で同様面積を観測すれば同様の値となる。反射光信号値に関しては透過光信号値と同じく扱い図23(a)で唯 t を r と書き変えれば済む。二次微分値の計算する目的は、観察点が何処かとの間に対して、クロームパターンの端にあるのかあるいは、欠陥の上にあるのかについての情報を与える為である。二次微分値の計算は、与えられた画像に関して線形コンボリューション計算(たたみ込み演算)をすれば良い。

【0110】図23(a)の $t_{x,y}$ にて示される一例のように、画像の中の各ピクセルは、それを中心にその周りの矩形 L を考えそれを構成するピクセル群を想定し、この例では 3×3 であり、

$$\begin{array}{ccc} t_{x-1,y-1} & t_{x-1,y} & t_{x-1,y+1} \\ t_{x,y-1} & t_{x,y} & t_{x,y+1} \\ t_{x+1,y-1} & t_{x+1,y} & t_{x+1,y+1} \end{array}$$

が前記線形計算の入力値であって、これでもって中心値、即ち前記ピクセル値の二次微分値 $t''_{x,y}$ を $t_{x,y}$ から計算する事が出来る。そのたたみ込みの演算式は、次のようにマトリックス演算子を用いて表わすことが出来る、

$$[\text{数5}] \quad \dots (5)$$

$$[\text{0112}] \quad [\text{数6}]$$

$$T''(x, y) = \sum_{i, j} L(i, j) \cdot T(x-i, y-j) \quad \dots (6)$$

【0113】しかしながらこのマトリックス演算子では、透過光ピクセル画像の端部で劣化即ち精度が落ちてしまつて、結果の T'' 画像マトリックスは、図23

(b) に一で示す様にその行列の最外行並びに最外列の所でそれ等の値が確定しない。

【0114】二次微分関数の演算を実行する為の矩形マトリックス演算子 L の選択に関しては多くの選択肢がある。矩形マトリックス演算子 L に関してここで論ずるのはランバート法(L は、ランバートの演算子)と言われ広く知られているが、これは二次元にて変換が行なわれている故に、二次元でその対称性がある。この例で L が*

$$L = \begin{bmatrix} d & v & d \\ h & c & h \\ d & v & d \end{bmatrix}$$

【0116】デジタル化されたされたピクセルデータに関し他の別のたたみ込みマトリックス計算の例は、次のように画像を光学的に処理する際、サンプリング以前に、広く知られたコヒーレント光のフーリエ法に依るフィルタ技術を使う事も出来る。

【0117】【参照地図の作成方法】上述のように、探索超空間としては $T-R$ 、 $T-T''$ それから $R-R''$ が使われており、検査基板の検査特性を調べることが出来る。この時欠陥が無い領域は飛ばして進める事が出来る。実に、本発明の第2形態である基板検査装置並びに方法に於ては、各 $T-R$ 、 $T-T''$ 且つ $R-R''$ 超空間にて、検査を飛ばす事が出来る。即ち、無欠陥領域の境界を定義する上での巧みな手法は、「飛ばし」に尽きるのである。満足な欠陥探索を実行する上で各参照地図内での前記無欠陥領域を正しく定義する事は必須であるが、その上で各参照地図は欠陥分類地帯を内包し得るので、必要に応じて検査課程に於てその結果の内容に応じて前記欠陥分類地帯を調整する事が出来る。実験結果に依れば、基板特性は種々条件で色々に変動するのでそれ故に無欠陥領域の境界は各基板で個別に決定する必要があるのは自明であり、それに依って始めて検査感度が最適化される事になる。反対に、欠陥分類の領域は、更に一般的であつて検査手法に依存しない、むしろ基板の特性に依存すると言えるので分類に伴う誤謬は欠陥探索に於ける誤謬と比べてそれが与える損失は少ない。それゆえに分類のゾーンに関しては、實際上それ程頻りに調節する必要は無く従つて経験的に長期に亘つて欠陥の内容を統計的に分析して調節すれば良い。この節の意図は、通常は無欠陥の基板情報が如何にして得られるかを説明する事にあり、それに関連して探索超空間内でその結果を如何に記号化するかの詳細(実験的な欠陥の形状

*選ばれた理由は、それになるべく強い円対称性を残すことが出来るような他の観察域に於て仮想的な反応が生ずる事を狙つた為である。それで、このようにして、 T から T'' へと同様に R から R'' の変換を前記のような演算をしている。内容を解かり易くする為、ここでピクセル画像に於ける T と R の二次微分値の上述の計算は近似的にハイパスフィルタ L 即ちマトリックス(7)式にて実施したが、ここに、 $c=0.1817536$ 、 $d=0.01539003$ 、且つ $v=h=-0.0648287$ としている。

【0115】

【数7】

... (7)

の判定法並びに $T-R$ 及び $T-T''$ 且つ $R-R''$ 空間内の無欠陥と認定する領域を如何に決めれば良いのか)を論ずる。

【0118】さて以下に、 $T-R$ 参照地図内で無欠陥領域を解析的に決める方法を示し、よつてこの参照地図に引かれるべき無欠陥領域の境界線を $T-T''$ 並びに $R-R''$ 参照地図上で如何に決定するかを論ずる。生産現場で、欠陥か否かの或る許容境界を得て基板検査を実行するに際し、一般的には、参照地図を製作する作業事自体は教育課程と同様と見做す事が出来る、と言うのは、選ばれた同種の複数の基板に於て、標準的な基板特性をサンプリングに依つてその代表例を探しその無欠陥領域の検査例をコンピュータ内に集積して後の活用の為の参照ファイル(教師)とする事の反復実行であつて教育課程と類似している。参考曲線を確定する作業は、一つの基板だけを使って行なう事が出来るが、但し勿論多数を用いた方が統計的に正確になるしその上、偶々、欠陥が紛れ込むと言うエラーも統計的に薄められるので望ましいと言う点に注意すべきである。かくして、先ず検査装置セットアップ即ち稼働の為の準備が必要になり、このため基板からサンプル領域を設定し、この同一領域に於て T 、 R 、 T'' 且つ R'' 信号をサンプル点にて測定しその後これ等信号値は探索超空間内でサンプル自体の記録としてグラフにする。各種の参照地図上で無欠陥領域のセットアップデータを確立する為に使う或種の特に選ばれた基板に於て欠陥を含まないピクセル群の真の統計的性質を近似的に表現する為に、上に続いて前記データ記録は以下に記述するフィルタを通す変換作業を行なう。よつて、これは2進数でもつて欠陥の有無を表現する各点を多数集合させて参照地図を製作する課程そのものである。このようにして開発する参照地図は、他の値にも発

展して展開する事が出来て、欠陥の分類作業をする目的で更に符号化をする事が出来る。或る出来の良好な検査基板を探しそれを代表的参考サンプルとして使う為に、特にその基板の上の代表的なフォトリソグラフのパターンを選んで、先ずその中の或る代表領域を選ぶ。

【0119】このようなサンプル領域は検査装置のオペレータ（操作員）が選ぶ事が出来るが、勿論システムコンピュータが制御して自動的に選ぶ事も出来る。参考サンプル領域の選択に関しては、上の2種のどちらの方法で前記地域の特性調査を行なっても、重要な事はこの参考サンプル領域が無欠陥である事を本当に確認する事にある。一旦、参考サンプルが選択されれば、その透過光反射光の像はすぐ得られる。この時点で、各参照地図内の無欠陥領域を選ぶ為に沢山の方法が応用出来る。これ等多数の中から自動計算で行なう事が出来るものについて以下3つの例を述べる。例えば、T-R平面を考えバイナリー（2進数）の1が割付けられた少なくとも1つのサンプルのピクセルが占有するとした時、このサンプルの全ピクセルに関するバイナリー散乱プロット(binary scatter plot)をそのT-R平面内に描く事が出来る。前記T-R平面で残り全ての領域は、占有されていないので当然ながらバイナリー（2進数）の0を割付ける。これが即ち、バイナリー散乱プロットである。

【0120】さて図20に戻って典型的な例では、前記の占有されている点は包絡領域421の中の塊りに集中してしまうと考えて良いが、但し非占有点がその包絡領域421に稀に紛れ込んでも良いし、もしサンプルに異常があれば占有点の一部がその包絡領域421からはみ出す事もある。次に、このバイナリー散乱プロットを使って包絡領域421の中に全構成点が唯一つの値を持つような接触領域を形成し、残りのT-R平面は全て0であって、この接触領域を囲むようにする。前記を実行する為には、例えば著者 Anil K. Jain（ジャイン）に依る文献“Digital Image Operation デジタル画像操作”1989年 Prentice-Hall, Englewood Cliffs 社刊の384-389頁にあるような、標準2進形態学的演算を行なう事が出来る。代表的議論をすれば、最初に捕捉したピクセル間に存在するサンプルの塊り全体の中に存在する全空隙を少なくとも取り除くに充分な大きさの対称カーネルを用いて、「絞り」作用を最初に施す事が出来る。結果は、2進数の分布であってその中は満たされており、その分布は展開して広がる。同様に、対称カーネルを用いて必要なサイズの参考包絡領域を生成する為に浸食作用を施す事が出来る。

【0121】このようにして最終参照包絡領域のサイズを調整して、検査感度は操作する事が可能であるので従って最終の検査作業の性格と規模も操作する事が出来る。包絡領域に与える絞り作用が感度を減らす一方で、侵食作用は、反対の効果を与えて感度を上げる。一般に最終の包絡は、サンプルの塊りより大きいとその理由は

最終のサンプルの塊りは単に統計的な無欠陥点の分布の一部を代表するに留まる為である。サンプルデータをもっと正確に表現するには、前出のバイナリー散乱プロットよりは、T-R超空間に於て前記参照サンプルの多値ヒストグラムを用いる方がむしろ望ましい。

【0122】T-R超空間内で無欠陥領域を定義する為サンプル基板が検査且つ走査されている時、この前記手法を用いて、T-R超空間内の各座標について実際に前記データの数量管理を行なう事が出来る。この多値ヒストグラムを次に積分フィルタを通じて円滑化を実施した後、閾値にて選りわけて2進数値の参照地図へと変換する事が出来る。前記多値ヒストグラム法の長所とは、T-Rデータ点とその発生頻度に応じて加重平均化されてその為に減多に起こらないT-Rデータ点はこの課程で頻繁に起こるデータ点が強調されるので実体をより良く表わす事が出来る点にある。また、最後に閾値にてよりわけてので減多に起こらない異常値は最終T-R参照地図から除外する事が出来る。更に、積分フィルタの幅を調整して感度制御を幾分成し遂げる事が出来る。

【0123】別の技術があつて、無欠陥領域を定義する目的でサンプルのヒストグラム加工が可能な事を示すが、それはハラリック(Haralick)氏等の論文によって説明が試みられている多値形態学(Multi-valued Morphology)を用いるものである。その文献は、論文“Image Analysis Using Mathematical Morphology”「数学的形態学に依る画像解析」であつて、1987年7月発行のIEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol PAMI-9, No. 4 に記載がある。この処理の方法は、既に述べた2進法形態学の多値への延長であつて、絞り込み作用と侵食作用を多値機能に応用した事に集約される。この方法は前の二つの方法を複合化したものであつて積分フィルタの代わりに多値を扱う絞り込みと侵食の両作用を用いて円滑化されたヒストグラムを得て更に最後に適当な閾値で「よりわけ操作」を行なつて参照地図を2進数値の散乱図に還元するものである。

【0124】[他の実施の形態] 本発明の第2の実施の形態である基板検査装置並びに方法に関しては前記で論述したように、レーザを備えた掃引光学系でもって透過光信号並びに反射光信号を対として同時発生を行なう事が出来るが、欠陥検査且つその分類をする目的の為に、他の適当な画像走査方法を考えても良い事は当然であつて、そのような方法の十分条件は、透過光信号並びに反射光信号を対として同時発生を行なう事が出来れば良いのである。更に、欠陥検査且つその分類をする上述の手法は如何なる画像走査課程に対しても応用が可能であつて、この時に画像走査課程としては時間的に整合している多数の光学的信号を発生するように整える事が出来れば良く、基板との位置及び方向関係を考慮して光検出器をセットし基板に光源からの光を任意の角度で入射

させるようになっていけば十分である。探索超空間の所で述べてあるが、観察可能な物理量として、 T 、 R 、 T' 及び R' に限定する必要は無く、観察可能な物理量相互間に相当な相関関係が確立していて参照地図を製作出来るような組み合わせなら十分に検査並びに分類が出来ると考えて良い。

【0125】欠陥を探索し分類する別の方法は、神経のネットワーク網を使うものである。例としては、探索超空間と参照地図を使う方法を上に公開したが、3層の後方伝播型ネットワーク(backpropagationこれをBPNと略称す)に於ける入出力地図に依る手法に適用出来る事をも見出した。ここでBPNに関しては、著者 J.A. Freeman and D.M. Skapura、文献、“Neural Networks - Algorithms, Applications, and Programming Techniques”「ニューラルネットワーク—アルゴリズム、応用そしてプログラム技術」出版社 Addison-Wesley (マサチューセッツ州レディング)の89乃至126頁に詳しい。前述の神経のネットワークの応用では、その必要条件は以下の点を除いて前記と同じである。

【0126】典型的BPNに関しては図25に示したように、3層のニューロンで構成されている。即ちそれ等はそれぞれ入力層、中に隠されたプロセス層及び出力層である。ニューロンの各入力層は観察可能な物理量(これに関しては上に述べてあるが、図23(a)及び図23(b)の T 、 R 信号に関して矩形ピクセル群の近傍の単一ピクセルがその例である)を受け入れて入力とする事が出来てそれを隠されたプロセス層である第2層に送り込むのでその2層の各ニューロンは各々該当する第1層からの信号を受け入れ、それぞれ独自にプロセスを加えて出来た信号を出力すると各第3層のニューロンは前記信号を各々対応する隠された層から受け入れてそれぞれ独自の出力信号を出力する。よって、各ニューロンは前段の層の回路節を通じて入力信号を受け入れ、それを組み合わせてその重み平均に依る線形活性化関(linear activation function)にて決まる各信号を出力する。その各々の重み平均に依る線形活性化関数にて決まる各出力信号は、前記第2層及び第3層の各回路節に於て独自にバイアスがかかりそれに依りて変化を起こす事に依りて学習するプロセスを経て決まる。

【0127】バイアス関数は計算後各バイアスユニットにデータを入力する場合と、或いはそうでは無く教育を実行してデータを修得させる場合とに分けられる。後者では、ダイナミックな環境で教育が実施されるので、ある場合は他の作業が進行中であって全ての可能な結果が出力端で解かっていない事態も起こる。この学習課程を更に詳しく記述する為、以下にもっと議論を展開する。ここで重要な事は、実際の動作では、たとえ第2、3層の各回路節が前段の各回路節を通じて信号を受け入れる時、或る特別な回路節の特別な機能に注目した場合に必ずしも全ての入力信号が活性化して使われている訳では

無いと言う事である。

【0128】前段の全回路節と次層の各回路節への結線は、BPNの製造時に単に標準化された結果であるに過ぎなく実際は種々信号の効果は、時として前記信号に興味が無いようなケースでは決定的にその回路節で無視される事もあるのである。即ち、本発明の第2形態である基板検査装置並びに方法に於ては、隠れた第2層の回路節に加わるバイアスを調整して、例えば入力層(第1層)からの R と R' 信号を無視してしまい T 、 T' 空間にて種々データの値の近似値を発生させる事が出来る。よってそのようなBPNは、入力層に4つのニューロンを持たせ4つの観察可能な物理量 T 、 R 、 T' 及び R' をそれぞれ受け持たせるようにし、データの異なる相関性に対応して異なる活性化エネルギーを測定するような隠れた層即ちプロセス層を備え、出力層である第3層としてはその各回路節に欠陥分類と対応したメンバー値を割り付ける事が出来てメンバー値のセットを出力する事が出来る、即ち欠陥分類(メンバー分類)を達成する。最後の評価は、前記メンバー値が最大になるような分類項目を選んで決定する。このような実施方法は実際は同じ入出力の関係を解明する上で使う前述の場合の代替法であって、この関係を示す図を参照地図と呼んで来たが、これが本発明の一般的な考え方である。実際、探索超空間に於て、BPNの入力層は座標軸と一致させて考える事が出来るし、出力層は欠陥を分類項目に割り付ける事に相当し、隠れたプロセス層は解析論理結果の最適化して各入力信号に或る分類項目を割り付ける課程に相当するのであってその結果参照地図を作る事が出来る。そのようなネットワークの後方伝播特性は、隠れた層と出力層に於てその重み付けをする時に使って望ましい地図作製が可能になるようにし誤謬を最小にする。

【0129】前に述べた学習課程はこの際採用する事は容易である、と言うのはサンプルデータを前述の後方伝播方式に乗るように供給し、この時重みを調整しつつ好ましい出力を入力に組み合わせる事で達成される。その上、後方伝播は、検査装置使用中でも欠陥の確認作業が必要な時には何時でもBPNが学習を続けるように配慮するように出来る。この手法の他の変形は次の場合に適用出来る即ち、ネットワークにて T 及び R 信号を更にフィルタを通過させて、18ヶの入力ニューロンから成る入力層を備えるようにし、この構成で9つの透過光信号値と9つの反射光信号値を受け入れるようにし、それを 3×3 の近傍ピクセルにデータとして書き込むようにする。

【0130】本発明の第2の実施の形態である基板検査装置並びに方法に関して、種々の動作態様を例として重要なルーチンプロセス及び装置に関し幾つかを列挙して述べて来たが、本関連技術に精通している個人が前記記述を図を見ながら精読すれば当然新たな種々の代替的方法及び解法が浮かぶ筈である。それ故に、本発明の

第2形態である基板検査装置並びに方法の精神に於て、上述の請求項は、本明細の精読に依って当然考え付く代替案や変形例を全て含むものである。以上に好ましい実施の形態に基づいて本発明を説明したが、この技術分野で通常の技術を有する者であれば、本発明に種々様々な変更及び修正を加えることが出来ることはいふまでもない。例えば、走査中にレーザ光線を掃引しないですむように、実施の形態のような線形の検出器34を用いる代わりに、米国特許第4、579、455号に記載されているような時間遅延集積センサを用いることも出来る。このように修正した場合、レーザを光源として用いると、回転研磨ガラスを併用することによりY軸方向の干渉性が破壊され、時間遅延集積センサによりX軸方向の干渉性が破壊される。従って、特許請求の範囲にはそのような修正や変更も含まれるものと解釈すべきである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の特徴である斬新な欠陥自動検査装置に関し、レーザを用いたマスク検査装置の簡単な機能ブロック図を示す。

【図2】図1で描写されたマスク検査装置の一部サブシステムに関する詳細な図。

【図3】ダイツェダイ検査モードに於ける光ビームの走査経路を例証する図。

【図4】ダイツェデータベース検査モードに於ける光ビームの走査経路を例証する図。

【図5】オートフォーカス（自動焦点）システムで使用される光線の横断面を例として示す図。

【図6】オートフォーカス（自動焦点）システムで使用される光線の横断面を例として示す図。

【図7】X-Yステージの投影図であり表面のカバーの一部分を切除中が解かるようにした透視図。

【図8】ステージの構造フレームの詳細を示しているが、図7において8-8の線に沿って切取った所の断面図。

【図9】ステージの構造フレームの詳細を示しているが、図7において9-9の線に沿って切取った所の断面図。

【図10】反射光線検出器からの出力が位相シフトされる模様を誇張拡大して示す典型的な位相シフトマスクの断面図。

【図11】正弦波状に変化する検出信号を示す。これは位相シフト検査モードに於てマスクを走査して得られたものである。

【図12】位相シフト材の厚さを測定する時に使用する

フェーズロックループ（PLL）サブシステムのブロック図。

【図13】それぞれ透過光モード並びに反射光モードで位相シフト材厚を測定する為の光学サブシステムの構成原理図。

【図14】線幅測定の方法を記述する為の図。

【図15】本発明の第2の実施の形態に関わるマスク検査装置の簡単な機能ブロック図。

【図16】図15で描写されたマスク検査装置の一部サブシステムに関し、図2を改訂して得られる詳細な図。

【図17】レーザスキャナで一回走査を行なった時、センサから検出される透過光と反射光を正規化して得たプロット図。

【図18】透過光と反射光並びにその両者の和信号を正規化したプロットで、粒子汚染の例を示す図。

【図19】欠陥不在時に見られる透過光と反射光信号対の関係を示すグラフ。

【図20】図19の欠陥不在時と比べ、粒子汚染が不透明層上と、パターンの端部と、更に透明基板上にある場合の透過光と反射光信号対の関係を示すグラフ。

【図21】透過光とその二次微分値を示したグラフ。

【図22】反射光とその二次微分値を示したグラフ。

【図23】マスク基板検査に於てピクセルレベルでの透過光像を示す図、及びマスク基板検査に於てピクセルレベルでの透過光像二次微分値を示す図。

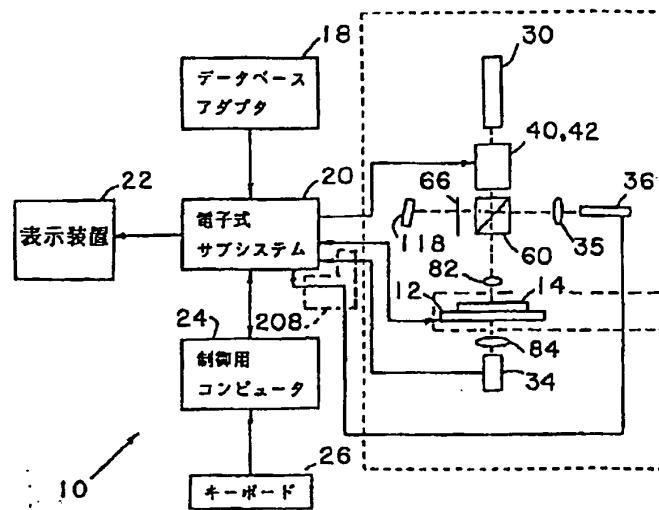
【図24】3段のブロック図であり、入射光が種々異なる特別に選ばれたフィルタを通して来る場合、第2段には、対になったフィルタ出力信号、第3段は、第2段で対になった信号の各々の組み合わせに依って欠陥が検出され且つ同定される場合の合成関数を表示する図。

【図25】BPN神経のネットワークの典型的描写例を示す図。

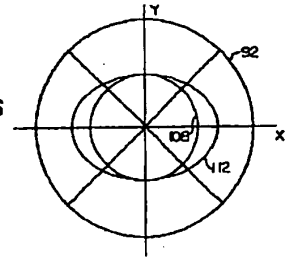
【符号の説明】

11…レーザ光学系、12…X-Yステージ、14…レチクル基板、16…光学系サブシステム、18…データベース・アダプタ、19…電子制御サブシステム、20…電子式サブシステム、22…ディスプレイ、24…制御コンピュータ、26…キーボード、30…レーザ、31…光路、32…光ビーム、33…基板のサブエリア、34…透過光検出器、36…反射光検出器、39…スワス、40、42…音響光学的ビームスキャナ、44…ビーム展開器、46…4分の1波長板、60…ビームスプリッタ、90、92…四分分割型フォトダイオード、160…位相シフトマスク基板。

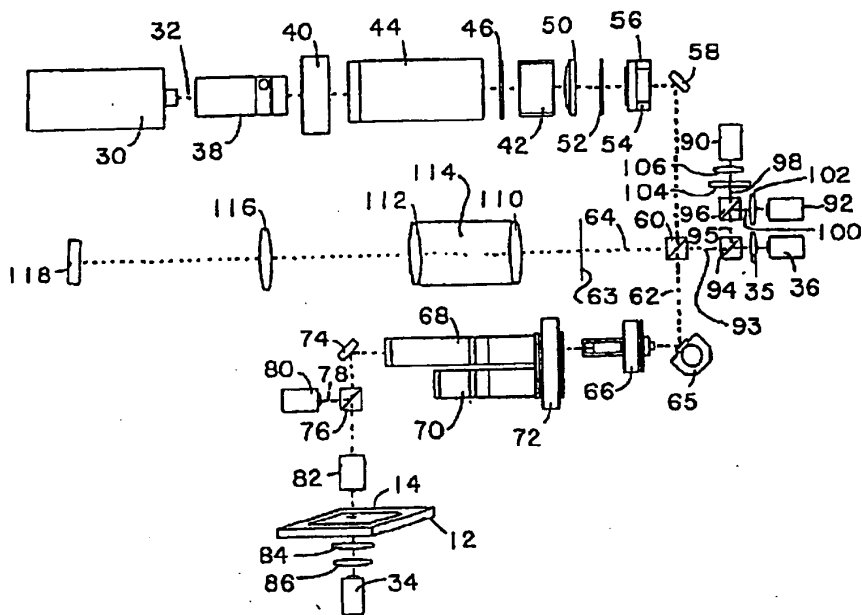
【図1】



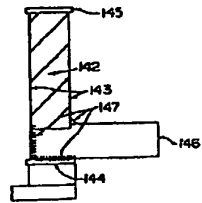
【図6】



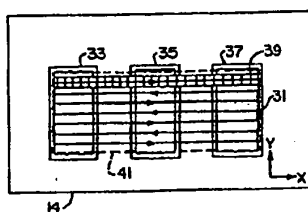
【図2】



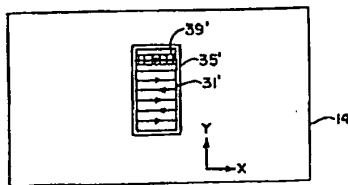
【図9】



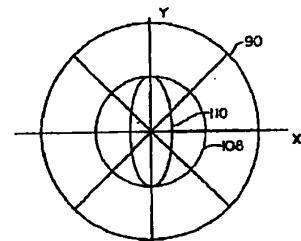
【図3】



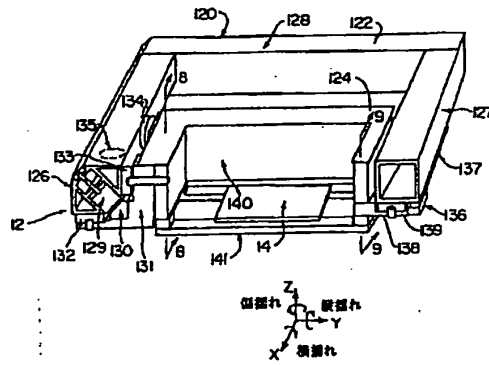
【図4】



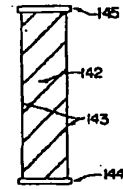
【図5】



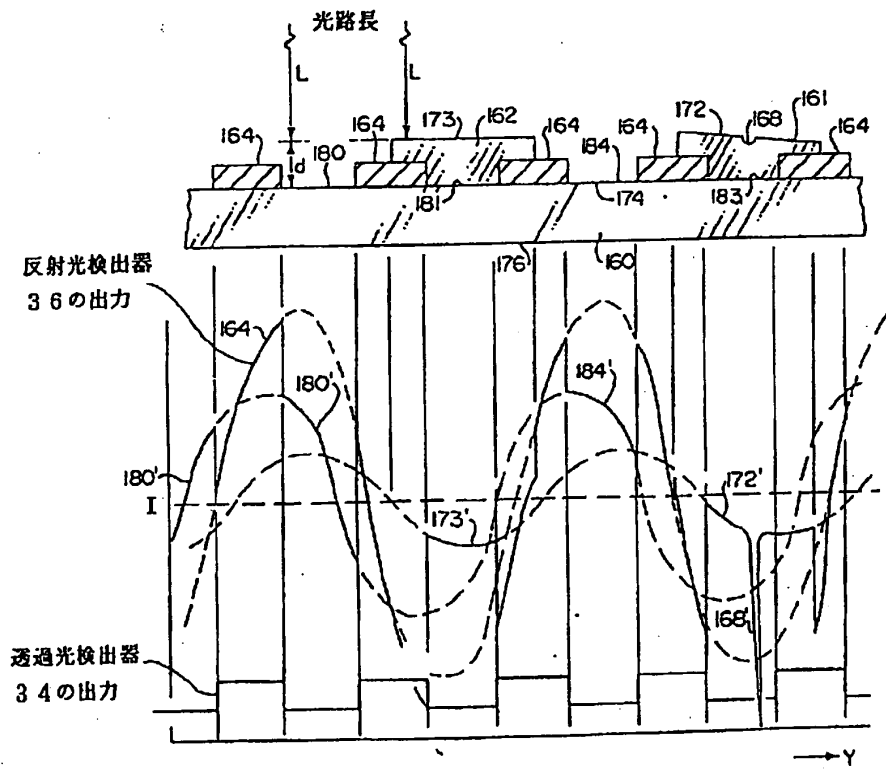
【図7】



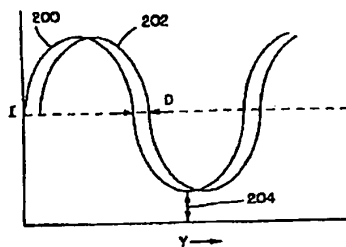
【図8】



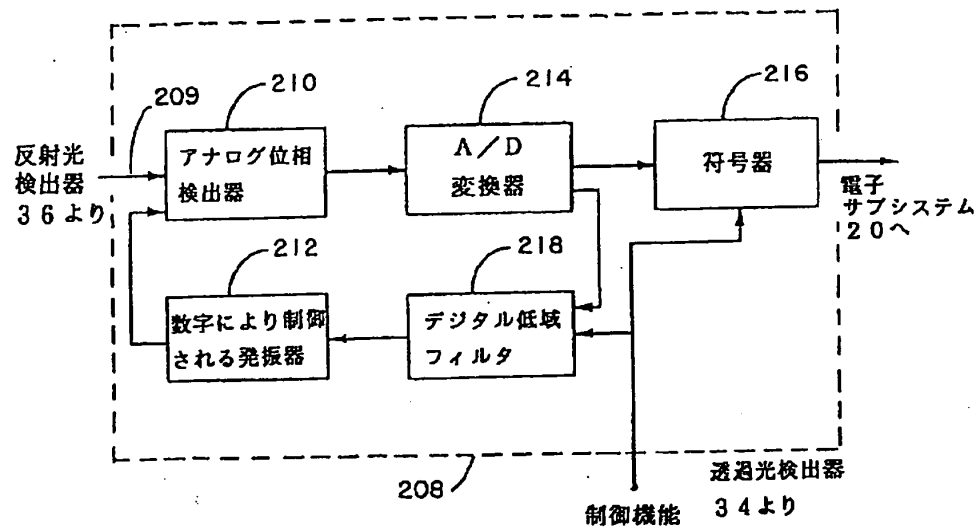
【図10】



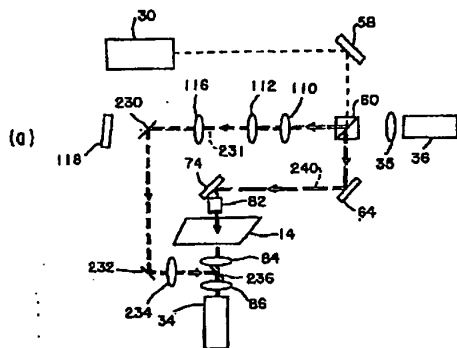
【図11】



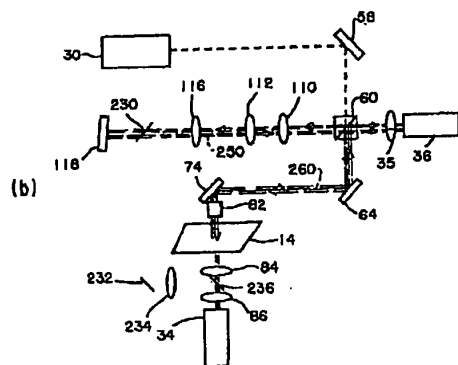
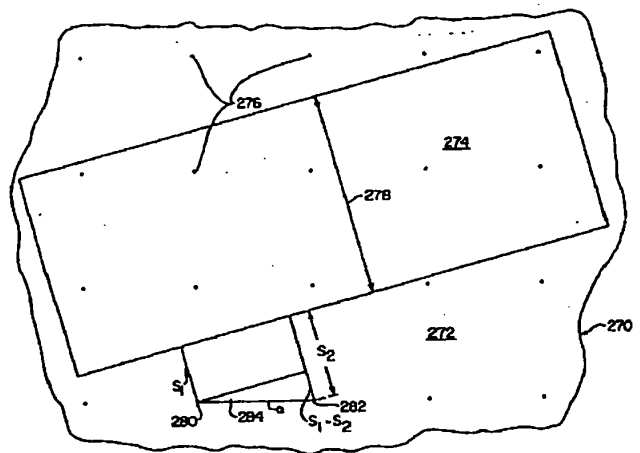
【図12】



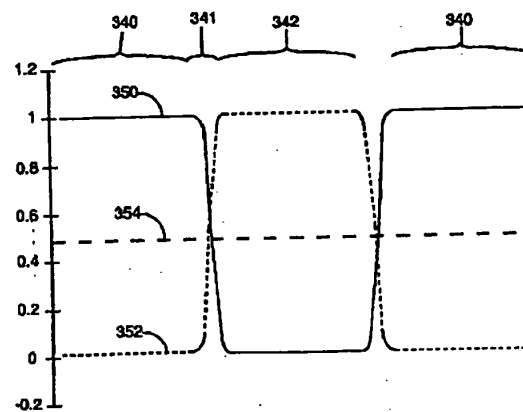
【図13】



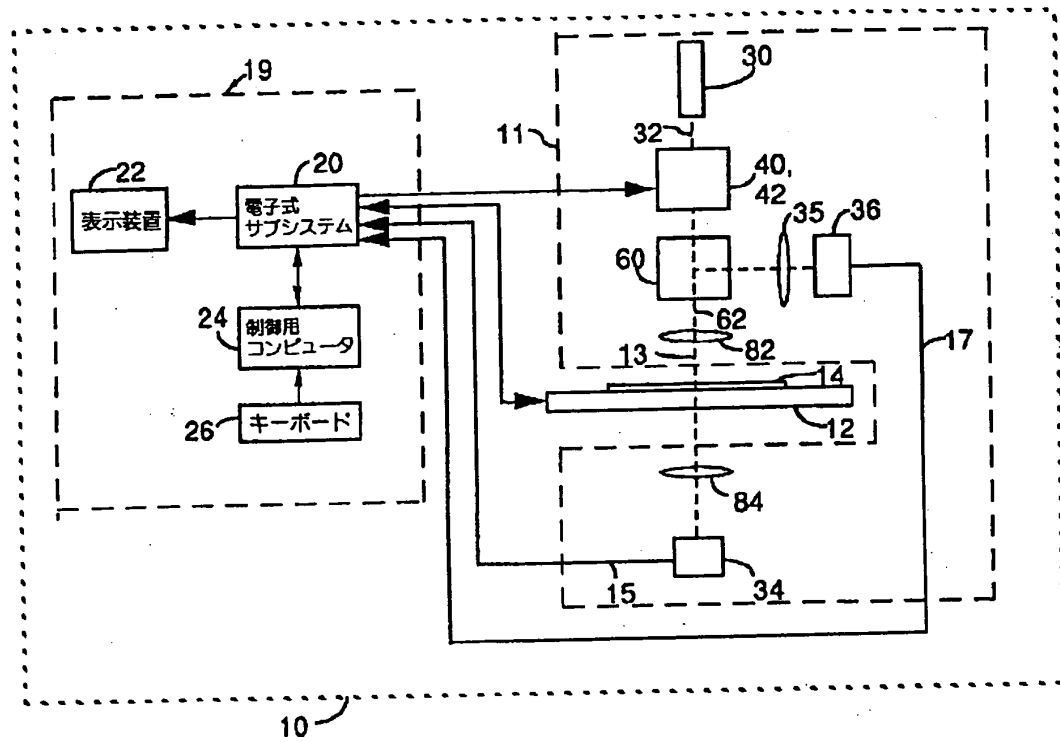
【図14】



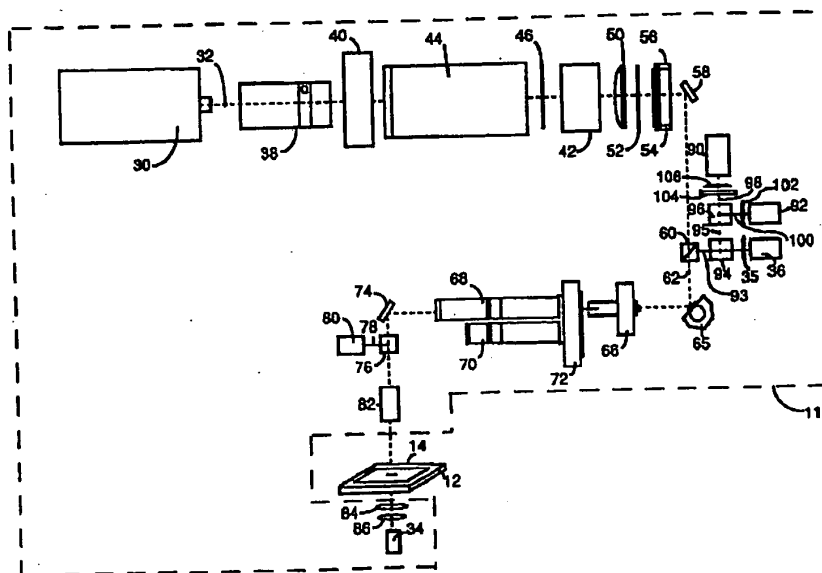
【図17】



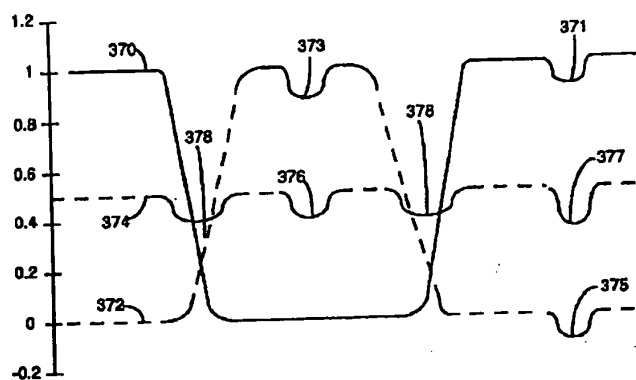
【例 15】



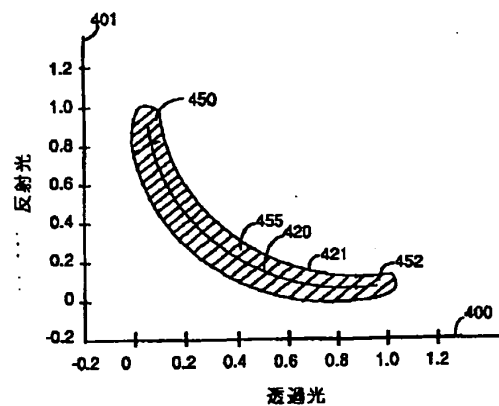
【图 16】



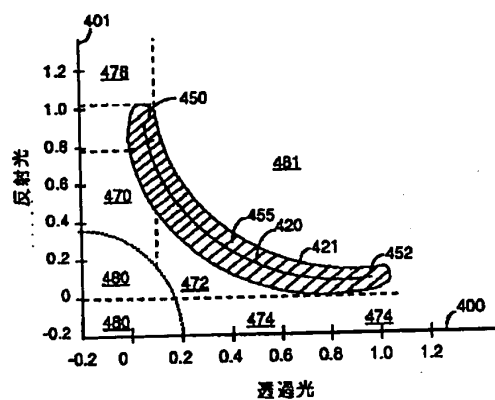
【図18】



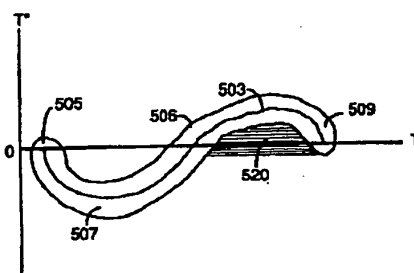
【図19】



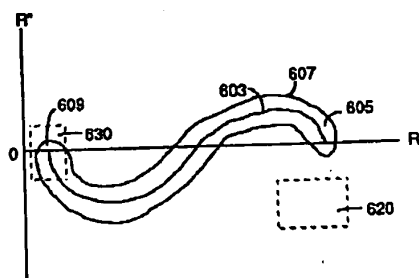
【図20】



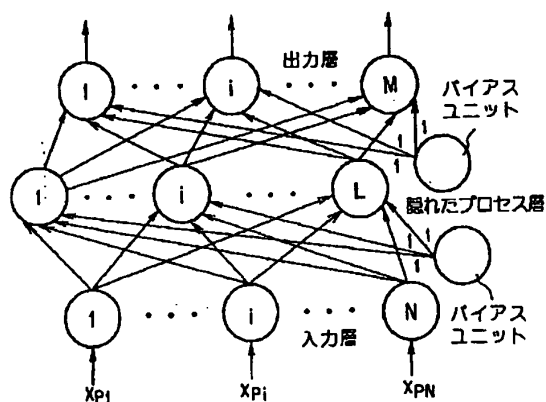
【図21】



【図22】



【図25】



【図23】

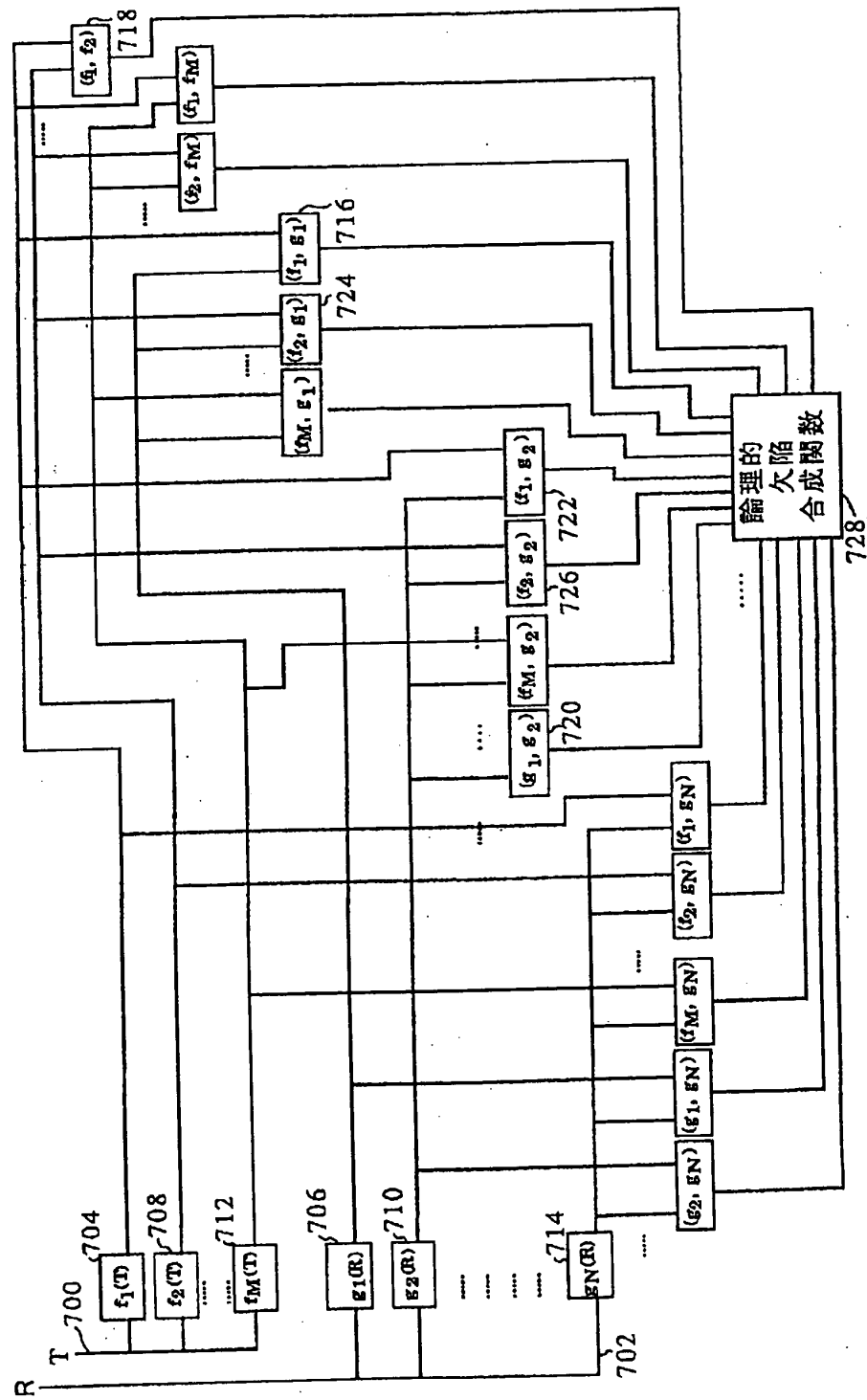
$$\begin{array}{ccccccc}
 t_{1,1} & t_{1,2} & \dots & t_{1,y-1} & t_{1,y} & t_{1,y+1} & \dots & t_{1,n-1} & t_{1,n} \\
 t_{2,1} & t_{2,2} & \dots & t_{2,y-1} & t_{2,y} & t_{2,y+1} & \dots & t_{2,n-1} & t_{2,n} \\
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & .. \\
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & .. \\
 t_{x-1,1} & t_{x-1,2} & \dots & t_{x-1,y-1} & t_{x-1,y} & t_{x-1,y+1} & \dots & t_{x-1,n-1} & t_{x-1,n} \\
 t_{x,1} & t_{x,2} & \dots & t_{x,y-1} & t_{x,y} & t_{x,y+1} & \dots & t_{x,n-1} & t_{x,n} \\
 t_{x+1,1} & t_{x+1,2} & \dots & t_{x+1,y-1} & t_{x+1,y} & t_{x+1,y+1} & \dots & t_{x+1,n-1} & t_{x+1,n} \\
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & .. \\
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & .. \\
 t_{m-1,1} & t_{m-1,2} & \dots & t_{m-1,y-1} & t_{m-1,y} & t_{m-1,y+1} & \dots & t_{m-1,n-1} & t_{m-1,n} \\
 t_{m,1} & t_{m,2} & \dots & t_{m,y-1} & t_{m,y} & t_{m,y+1} & \dots & t_{m,n-1} & t_{m,n}
 \end{array}$$

(a)

$$\begin{array}{ccccccc}
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & .. \\
 .. & t''_{2,2} & \dots & t''_{2,y-1} & t''_{2,y} & t''_{2,y+1} & \dots & t''_{2,n-1} & .. \\
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & .. \\
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & .. \\
 .. & t''_{x-1,2} & \dots & t''_{x-1,y-1} & t''_{x-1,y} & t''_{x-1,y+1} & \dots & t''_{x-1,n-1} & .. \\
 .. & t''_{x,2} & \dots & t''_{x,y-1} & t''_{x,y} & t''_{x,y+1} & \dots & t''_{x,n-1} & .. \\
 .. & t''_{x+1,2} & \dots & t''_{x+1,y-1} & t''_{x+1,y} & t''_{x+1,y+1} & \dots & t''_{x+1,n-1} & .. \\
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & .. \\
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & .. \\
 .. & t''_{m-1,2} & \dots & t''_{m-1,y-1} & t''_{m-1,y} & t''_{m-1,y+1} & \dots & t''_{m-1,n-1} & .. \\
 .. & .. & & .. & .. & .. & & .. & ..
 \end{array}$$

(b)

【図24】



フロントページの続き

(72)発明者 デイビッド・ガース・エマリー
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
95126、サンノゼ、エモリー・ストリート
995

(72)発明者 ザイン・カフナ・サイディン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94086、サニーベール、ストーウエル・ア
ベニュー 382

(72)発明者 マーク・ジェイ・ウィル
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
95376、トレイシー、ブリチェット・コー
ト 34669

(72)発明者 タオ - イー・フー
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94539、フレモント、ウインドミル・ドラ
イブ 46612

(72)発明者 マーレック・ジウノー
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
95120、サンノゼ、プレサート・ドライブ
7049

(72)発明者 デーモン・エフ・クバンム
アメリカ合衆国、ミシガン州 48105、ア
ン・アーバー、 フェーラー・ロード
2222、アパートメント 313エー

(72)発明者 マイケル・イー・フェイン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94040、マウンテン・ビュー、ライム・ツ
リー・レーン 1909